

## MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS

PÁSZTOR LÁSZLÓ

Célspecifikus térbeli predikciók kidolgozása feladatorientált, térképi alapú  
talajinformációk előállítására

Budapest, 2018.



## Tartalom

1	Bevezetés .....	1
1.1	Problémafelvetés .....	1
1.2	Nemzetközi háttér .....	2
1.3	Hagyományos és digitális talajtérképezés.....	5
1.4	A digitális, térképi alapú, talajtani adatigények kiszolgálásának hazai lehetőségei.....	9
1.5	A digitális talajtérképezés pillérei.....	12
1.5.1	Geoinformatika és talajtérképezés .....	12
1.5.2	Távérzékelés és talajtérképezés .....	15
1.5.3	Geostatisztika és talajtérképezés .....	19
1.5.4	Adatbányászat, gépi tanulás és talajtérképezés.....	24
1.6	Motivációk, a dolgozat felépítése .....	26
2	A Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer (DKTIR) digitális reambulációja és információtartalmának feladatorientált kiaknázása .....	28
2.1	A DKTIR térinformatikai feldolgozása.....	28
2.1.1	Az alapanyag: Kreybig-féle Átnézetes Talajismereti térképezés.....	28
2.1.2	A DKTIR elsődleges, országos, digitális reambulációja .....	31
2.2	A DKTIR másodlagos, digitális és harmadlagos, mintaterületi reambulációja .....	33
2.2.1	A talajfoltok aktualizálása.....	34
2.2.2	A talajfoltok térbeli finomítása.....	34
2.2.3	A talajtani információk terepi aktualizálása .....	36
2.3	A reambulált Kreybig térképek megbízhatóságának térbeli becslése .....	37
2.4	A DKTIR kategória típusú pontadatainak indikátor krigelésen alapuló térbeli kiterjesztése .....	40
2.4.1	Háromdimenziós talaj textúra adatbázis kialakítása .....	41
2.4.2	Természeti hátrányokkal érintett területek térképezése .....	44
2.4.3	Élőhely osztályok előfordulási becslése .....	45
2.5	A DKTIR adataiban rejlő lehetőségek kiaknázása digitális talajtérképezési környezetben .....	46
2.5.1	A DKTIR foltrendszer, mint prediktor segédváltozó .....	47
2.5.2	Kategória típusú talajtérképek dezaggregálása adatbányászati módszerek segítségével .....	47
2.5.3	Referencia talajtani adatbázisok integrálása egymást kiegészítő jellemzőik kiaknázásával .....	50
3	Lehatárolási problémák funkcionális talajtérképi vonatkozásai .....	54
3.1	Természeti hátránnyal érintett területek lehatárolása.....	54
3.1.1	Archív adatok célspecifikus feldolgozásán alapuló lehatárolás .....	55
3.1.2	Célspecifikusan előállított digitális talajtérképeken alapuló lehatárolás.....	60
3.2	Kiváló és jó termőhelyi adottságú szántóterületek lehatárolása .....	66
3.2.1	Talajbontációs térkép dezaggregálása .....	66
3.2.2	Talajtulajdonság térképek termőhelyi minőséget meghatározó pontozásos értékelése .....	67

3.2.3	Biofizikai kritériumok felhasználása a termőhelyi minőség értékelésére.....	68
3.2.4	Terméseredmények felhasználása a termőhely adottságainak integrált becslésére .....	69
4	A hazai térbeli talajinformációk előállításának és szolgáltatásának megújítása .....	72
4.1	Esettanulmány: A talajok felső rétegének szervesanyag tartalma Zala megyében.....	73
4.2	Országos, elsődleges talajtulajdonság és talajtípus térképek.....	80
4.2.1	Országos termőréteg vastagság térkép .....	82
4.2.2	Harmonizált jelkulcsú, országos, genetikus talajtérkép előállítása szekvenciális osztályozással ...	83
4.3	Kapcsolódás térbeli talajinformációk előállítását és rendelkezésre bocsájtását kezdeményező globális együttműködésekhez.....	91
4.3.1	GlobalSoilMap@hu .....	92
4.3.2	GSOC17@hu.....	93
4.4	Az elsődleges talajjellemzők országos térképezésének eredményei.....	94
4.5	Az elsődleges talajtulajdonság térképeken túl .....	97
4.5.1	Vízerózió-veszélyeztetettség.....	99
4.5.2	Szélerózió-veszélyeztetettség .....	102
4.5.3	Egyes talajfunkciók térbeli becslése digitális talajtérképek és a 4M növény szimulációs modell integrálásával .....	107
5	A mintavétel-tervezéstől a célspecifikus digitális talajtérképekig a Tokaji történelmi borvidék termőhelyi potenciáljának feltárása céljából .....	114
5.1	Elsőkörös mintavétel-tervezés .....	114
5.2	Elsőkörös, célspecifikus digitális talajtérképek előállítása .....	116
5.3	Második körös, optimalizált mintavétel-tervezés.....	120
5.4	Második körös, célspecifikus digitális talajtérképek előállítása.....	122
6	A digitális talajtérképezés koncepciója alapján végzett környezeti térképezés .....	124
6.1	Belvíz elöntés veszélyeztetettség térképezése regresszió krigeléssel Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében .....	124
6.2	Geogén radonpotenciál becslés regresszió krigeléssel Pest megyében .....	129
7	Összefoglalás, új tudományos eredmények .....	135
8	Köszönetnyilvánítás .....	137
9	Irodalomjegyzék.....	138



### 1.1 Problémafelvetés

A talaj az atmoszféra, a hidroszféra, a litoszféra és a bioszféra metszéspontjában helyezkedik el, kölcsönhatásainak közege, számos környezeti folyamat aktív vagy passzív résztvevője. A földtani, éghajlati, domborzati, biológiai talajképző tényezők kiegészülve az emberi tevékenységekkel együttesen formálják a talajt, melynek fizikai, kémiai és biológiai jellemzői a kiindulási állapot, a talajt érő hatások és az eltelt idő függvényeként alakulnak ki. A talaj számos antropogén funkcióval és szolgáltatással bíró, határfelületi helyzetű környezeti elem.

A talajok állapotának térbeli jellemzéséhez, a talajképződési- és talajpusztulási folyamatok földrajzi elterjedésének vizsgálatához, illetve a talajok által is érintett környezeti folyamatokhoz kapcsolódó feladatok szempontjából kiemelt fontosságú a talajokra vonatkozó ismeretek térbeli érvényességének és térképezhetőségének vizsgálata, a talajtulajdonságok, talajfunkciók és szolgáltatások, valamint a talajjal kapcsolatos folyamatok regionalizálása.

A talajtérképezés célja a talajtakaróra vonatkozó tematikus ismeretek térbeli viszonyainak feltárása és megjelenítése. A talajtérkép a talajtakaró célspecifikus térbeli modellje, melynek megalkotása a talajképző folyamatok szem előtt tartásával történik. A környezeti elemekre vonatkozó térbeli adatok felhasználása elengedhetetlen a talajtérképezésben, másrésről a térbeli talajinformációk és talajtérképek szerepe és alkalmazása megkerülhetetlen a környezeti folyamatok modellezésében (1.1 ábra).



1.1. ábra A talaj határréteg szerepe az atmoszféra, a hidroszféra, a litoszféra, a bioszféra és az antroposzféra metszéspontjában.

A talajokra vonatkozó térképi alapú információigény korábban is jelentős volt, napjainkban azonban mellett, hogy bővül, egyidejűleg jellege is változik mind hazai, mind nemzetközi vonatkozásban. A megfelelő minőségű, megbízhatóságú, reprezentációjú és felbontású térbeli talajinformációk a kutatás mellett a mezőgazdaság, a környezet-, és természetvédelem, a területi tervezés számos feladata (agrár-környezetigazdálkodási programok, földértékelés, földhasználat váltás, környezeti kockázatkezelés, ökoszisztéma szolgáltatások felmérése, öntözés stratégia, termésbecslés, vízgazdálkodás etc.) a földhasználók, a politika formálók, a döntéshozók, a modellező közösség számára egyaránt elengedhetetlenek. Ez az elvárás szerencsés módon egybeesik azzal a hatalmas technológiai ugrással, amely a talajokra vonatkozó információk gyűjtésének módjában és azok térbeli becslésének kivitelezésében (összességében a talajtérképezésben) az utóbbi időszakban kezdődött és jelenleg is zajlik.

A korábban gyűjtött, térképezések, felvételezések által szolgáltatott információk hosszú időn keresztül jól szolgálták a felmerült társadalmi igényeket, annak köszönhetően, hogy döntően ez utóbbiak határozták meg gyűjtésük célját. A talaj multifunkcionalitásának széleskörű felismerése azonban éppen a hagyományos, terepi adatgyűjtésre fordítható erőforrások beszűkülésével egyidőben következett be. A talajokról hagyományosan gyűjtött adatok körét és az azok alapján szerkesztett térképek tematikáját döntően a talaj - korábban szinte kizárólagosan tekintetbe vett - biomassza termelésre vonatkozó funkciója határozta meg. Az általánosabb szolgáltatásokkal, a talaj multifunkcionalitásával kapcsolatos igények csak az utóbbi időben kezdik elérni a kritikus szintet, amelyek kielégítésére megoldásokat kell nyújtania a kvantitatív talajtannak és talajtérképezésnek. Mindeközben aktuális elvárás, hogy az információ digitálisan és minél szélesebb körben legyen hozzáférhető.

Ennek köszönhetően vették át a legfőbb talajtani információhordozó szerepét a térbeli talajinformációs rendszerek, amelyek korszerű tartalommal való feltöltéséről a digitális talajtérképezés gondoskodik.

A talajokra vonatkozó térbeli adatok elérhetőségében nagy különbségek tapasztalhatók az egyes országok között. Magyarország jelentős hagyományokkal bír a talajtérképezések terén. Hatalmas mennyiségű talajtani információ keletkezett, az adatgyűjtések különböző léptékekben történtek a gazdálkodásitól az országos szintig. A jelenleg rendelkezésre álló hazai talajtani adatrendszerek egyike sem tartalmaz azonban közvetlen információkat számos újonnan felmerülő, térbeli jelleggel bíró probléma megoldására. Ennek köszönhetően az aktuálisan rendelkezésre álló, illetve a felhasználók által specifikusan megkívánt információk nem feltétlenül, sőt egyre ritkábban vannak összhangban és így nem alkalmazhatók megfelelő hatékonysággal a kutatásban, vagy a döntéstámogatásban. A korábbi kiterjedt adatgyűjtés, felvételezés, térképezés célja, az annak alapján elvégzett munka, illetve az ezek eredményeképpen született adatok direkt módon nem feltétlenül alkalmazhatók egy adott, talajtani információkat igénylő problémakör kapcsán, ami megnehezíti számos stratégiai feladat ellátását és igen gyakran az ország hazai és nemzetközi kötelezettségeinek végrehajtását. Ezen segíteni új adatgyűjtés híján, illetve korlátozott aktuális adatgyűjtés esetén a rendelkezésre álló információk feladat-specifikus felhasználásával lehet. A probléma kezelése, illetve megoldása érdekében számos próbálkozás született a létező talajtani információk kiegészítésére, javítására, harmonizációjára és integrálására, melynek keretében kiemelt jelentőséggel bír a funkcionális, térképi alapú talajtani információk előállítása.

Archív és aktuális talajtani, valamint kiegészítő, térképi alapú, környezeti adatok, illetve geoinformatikai és alkalmazott matematikai módszerek célspecifikus integrációja megteremti a feladatorientált, digitális talajtérképezés kereteit, amely inherens módon lehetőséget biztosít az elkészülő tematikus térképek pontosságának, megbízhatóságának térbeli jellemzésére is. A hazai és nemzetközi tapasztalatok bizonyítják, hogy nincsenek univerzálisan használható módszerek, továbbá azt is, hogy az eredmények pontossága és megbízhatósága nagyban függ a felhasznált talajinformációs nyersanyag mennyiségétől és minőségétől, illetve az alkalmazott módszerek relevanciájától.

Az utóbbi évtizedben a térbeli talajinformációk értelmezésében és előállításában paradigmaváltás következett be. Az újonnan előállított talaj téradatok tematikájukban, azok reprezentációjában, mélységi jellegükben messze túlmutatnak a korábbi térképek tematikus tartalmain. A térképezett talajtani változókat a tematikai robosztussággal szemben a feladatorientáltság jellemzi, ami utat nyit olyan, általánosabb értelemben vett talajtérképek kidolgozásához, amelyek akár talajfunkciókat, folyamatokat regionalizálnak. A talajjellemzők térképi megjelenése kvantitatív térbeli becslés eredménye, melyet kiegészít a predikció globális és lokális bizonytalansága. Egy adott céltérkép maga is számos realizáció formájában születhet meg, amelyek tematikus tartalmuk, felbontásuk, pontosságuk, megbízhatóságuk szerint különböznek. A térbeli modellezési módszerek bizonytalanságának értékelése lehetővé teszi a predikciók összehasonlítását, illetve optimalizálását.

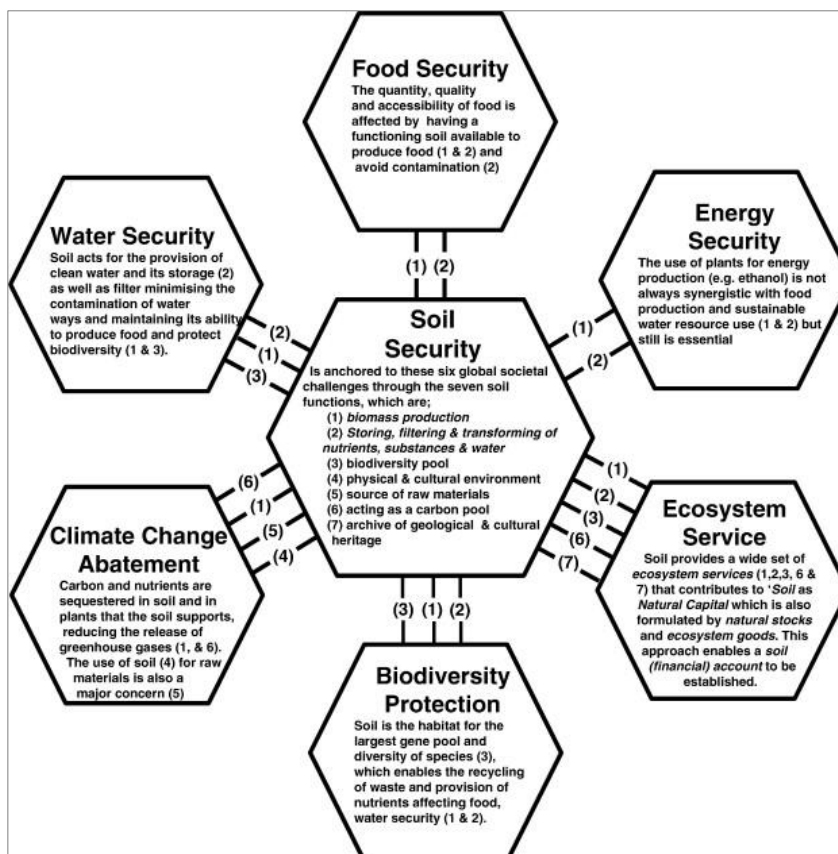
A Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Intézetének Talajtérképezési és Környezetinformatikai Osztályán (illetve jogelődjein) végzett kutatásaink egyik központi eleme a felhasználói igényeket célzottan és optimálisan kielégítő talajtérképek és térbeli talajinformációk előállítása. Dolgozatomban talajtani és környezeti adatokon, klasszikus talajtani tudáson, térinformatikai, térstatisztikai és adatbányászati módszerekre alapuló, célspecifikus térbeli predikciókból és azok eredményeiből mutatok be egy válogatást, amelyek reményeim szerint (i) összességükben megfelelően reprezentálják a legutóbbi kb. egy évtizedben elért eredményeket, (ii) összeállításuk pedig jól leképezi a kérdésfeltevések és az arra adott válaszok egymásra hatását és folyamatos fejlődését.

## 1.2 Nemzetközi háttér

Számos nemzetközi értékelés az emberiség és a Föld fenttartható fejlődésének alapjait a következő hat pontban foglalja össze (i) élelmiszer, (ii) víz és (iii) energia biztonság, (iv) a klímaváltozás mérséklése, a (v) a biodiverzitás megőrzése és (vi) az ökoszisztéma szolgáltatások biztosítása (Bouma & McBratney 2013; McBratney et al. 2014; Keesstra et al. 2016). Alaposabban szemügyre véve ezen környezeti kihívásokat, azzal a ténnyel szembesülünk, hogy a talaj mindegyikükben - akár kifejezetten jelentős - szerepet játszik. Az élelmiszer termelés alapvető forrása a termőtalaj (i), de a tüzelő és üzemanyagok egy része is, biomassza formájában innen származik (iii). A tiszta víz szűrésének jelentős részét a talaj végzi, a felszíni és felszín alatti vizek szennyezése igen gyakran a nem körültekintő talaj- és területhasználatból köthető (ii). A klímaváltozás szempontjából igen fontos jelentőséggel bír a talajok szerves szén megkötése, illetve a talajokban kötött szén és egyéb üvegházhatású gázok felszabadulása és légkörbe kerülése (iv). Egy kanálnyi egészséges talaj több élőlényt tartalmaz, mint a teljes emberi népesség (v). A talaj minden szárazföldi ökoszisztéma legfontosabb abiotikus eleme (vi).

A talajnak, mint környezeti elemnek a különböző, döntően határfelületi helyzetéből adódó funkciói az élet fennmaradásában és az élhető környezet megőrzésében játszott szerepét írják le különböző aspektusokból

(Schoonover & Crim 2015; Várallyay 2015a, 2016; Vogel et al. 2018). Az átalakítást, tárolást, szűrést, tompítást, táplálást, megőrzést etc., végző funkciók kiterjednek számos anyag és energia forgalmi folyamatra. A talaj egy feltételesen megújuló erőforrás (Wilson & Maliszewska-Kordybach 2000; Németh et al. 2005; Basic 2013; Várallyay 2015b). Funkciói természeti, illetve antropogén okokból gyakran sérülnek, a talajok különböző degradációs folyamatok következtében leromlanak. A talajdegradáció azonban nem elkerülhetetlen és főképp nem kivédhetetlen következménye a mezőgazdasági termelésnek, valamint az általános társadalmi fejlődésnek. A folyamatok és kedvezőtlen következményeik többnyire megelőzhető, megszüntethető, de legalább bizonyos tűréshatárig mérsékelhető (Várallyay 2016). A talaj funkcióinak, szolgáltatásainak fenntartására a nemzetközi irodalomban (McBratney et al. 2014; Field et al. 2017) manapság kezd elterjedni az élelmiszer, víz és energia biztonság mintájára a „soil security” azaz talaj biztonság terminus (1.2 ábra). A talaj biztonság számos nemzetközi program központi elemévé vált.



1.2. ábra A talaj biztonság és a főbb globális kihívások kapcsolata (Forrás McBratney et al. 2014).

Az ENSZ 193 tagállama 2015. szeptemberében fogadta el az új integrált fenntartható fejlődési és fejlesztési programot, az Agenda 2030-at. A Program központjában a Fenntartható Fejlődési Célok állnak, amelyek minden nemzetre érvényesek. Bouma & Montanarella (2016), illetve Keesstra és munkatársai (2016) alapos kitekintéssel foglalták össze a talajok és a talajtan szerepét és jelentőségét ezen fejlődési célok elérésében. Keesstra és munkatársai (2016) meglátásaikat grafikusán is összegezték (1.3 ábra; az eredeti magyarított verziója).

A 15. cél foglalkozik a szárazföldi ökoszisztémák védelmével: „Védeni, visszaállítani és előmozdítani a földi ökoszisztémák fenntartható használatát. Fenntarthatóan kezelni az erdőket, leküzdeni az elsivatagosodást, valamint megfékezni és visszafordítani a talaj degradációját és a biodiverzitás csökkenését”. Ezen belül a 15.3. alcél: „2030-ra az elsivatagosodás okozta leromlott termőföldfelületek és talaj helyreállítása, beleértve az elsivatagosodás, aszály és áradás okozta talajromlást, a talajromlás nélküli világ elérésére való törekvés”. Az ily módon megfogalmazott cél a „talajok leromlásának megszüntetése” (Land Degradation Neutrality, LDN), melyet az Egyesült Nemzetek Egyezménye az Elsivatagosodás Elleni Küzdelemről (United Nations Convention to Combat Desertification; UNCCD) is megfogalmazott. Orr és munkatársai (2017) publikálták az LDN tudományos, koncepcionális keretrendszerét, melyben hangsúlyos szerepet kapott a vizsgálati módszerek térbelisége, Tóth és munkatársai (2018) pedig a célokhoz vezető megoldások talajtani adatigényének lehetőségeit összegezték.

A talajok sokrétű jelentőségét és a talajerőforrásokkal való gazdálkodás globális kihívásait felismerve az ENSZ Mezőgazdasági Szervezete (FAO) 2012-ben létrehozta a Global Soil Partnership (GSP) programot, amely mára intézményesült formában szolgálja a talajokkal kapcsolatos információs igényeket (lásd: <http://www.fao.org/global-soil-partnership/en/>). A globális partnerség egyik első közös terméke a világ talajainak

új szervés-szén térképe (Global Soil Carbon Map), amelynek globális publikálása 2017. december 5-én, a Talajok Világnapján történt meg. Magyarország területére vonatkozóan a térképezési munkálatok az MTA ATK TAKI Talajtérképezési és Környezetinformatikai Osztályán folytak a DOSoReMI kezdeményezés keretében (lásd 4.3.2 fejezet). A GSP a 2018-as Talaj Világkongresszuson „A talajinformáció a talajokkal való fenntartható gazdálkodás alapfeltétele” címmel szervezett szimpóziumot.



1.3. ábra A talajok szerepe a fenntartható fejlődés szolgáltatásban (Forrás: Keesstra et al. 2016).

A Nemzetközi Talajtani Unió (IUSS) Digitális talajtérképezés munkacsoportjának kezdeményezésére egy globális konzorcium jött létre, melynek célja egy új, digitális, nagy részletességű, világ „talajtérkép” (Global Soil Map; GSM; <http://www.globalsoilmap.net/>) létrehozása a legkorszerűbb talajtérképezési technológiák felhasználásával, melyeket a talajtulajdonságok nagy felbontású térbeli becslésére dolgoztak ki (Sanchez et al. 2009; Hartemink et al. 2010; Minasny & McBratney 2010; Arrouays et al. 2014a,b; Hempel et al. 2014). Az új globális „talajtérkép” standardizált horizontális és vertikális felbontásban előállított tematikus térképek összessége, melyek elsődlegesen alap, kvantitatív talajtulajdonságokat jelenítenek meg. Ezek felépítése azonban olyan, hogy felhasználásukkal származtathatók legyenek további interpretált és funkcionális bővítmények, amelyek célja, hogy a döntéseket segítsék számos globális kérdésben, mint például az élelmiszer-termelés, az éhezéssel szembeni ellenálló képesség, a klímaváltozás és a környezet pusztulása. Az egész kezdeményezés hátterében az a felismerés áll, hogy jelentős szükséglet mutatkozik globális szinten is a pontos, naprakész és térben explicit talajinformációkra. Az igény szerencsés módon egybeesik azzal a hatalmas technológiai ugrással, amely a talajtérképezésben az utóbbi időszakban kezdődött és jelenleg is zajlik, és amely folyamatba a jelen dolgozatban bemutatott eredmények is illeszkednek.

A fent körvonalozott folyamatok következménye és eredménye, hogy a nemzetközi szervezetek (ENSZ, FAO, UNCCD, OECD, EU, etc.) szakmailag illetékes képviselői felismerték a talajtérképezés és a térbeli talajinformációk rendelkezésre állásában bekövetkezett paradigmaváltást. Érdekes folyamánya pedig, hogy ha egy (tag)ország nem tud, vagy nem szándékozik az elvárásoknak megfelelő alapokon adatokat szolgáltatni, akkor felajánlják arra képes és megfelelő kapacitással rendelkező nemzetközi, szakmai szereplők (European Soil Data Centre [ESDAC], International Soil Reference and Information Centre [ISRIC] etc.) térképezési tudását és erőforrásait az adatszolgáltatáshoz szükséges térképezési feladatok ellátására. Ehhez vagy nemzetközi (nem akkreditált, reprezentativitásában gyakran megkérdőjelezhető, nem feltétlen teljeskörű és naprakész adatokat tartalmazó) adatbázisokból veszik a referencia adatokat. Ebben az esetben az adott ország területére nem várhatóak olyan pontosságú térképi termékek, mint a nemzeti adatokból kiindulva. Éppen ennek felismerése vezetett egy másik megoldási javaslatához a legutóbbi időkben, mely szerint a segítség fejében és egyben annak elvégzéséhez, mintegy fizetségképpen, az adott ország által gyűjtött adatok „beszolgáltatását” kéri.

Hazánk óriási hagyományokkal bír a klasszikus talajtérképezésben, a világ döntő részéhez viszonyítva alapadatokkal jól ellátott és a korszerű módszerek alkalmazásában, sőt fejlesztésében is élen jár és mára hatalmas tapasztalattal bír. Mindezek okán, de a térbeli adatokra általánosan jellemző stratégiai megfontolások miatt is, Magyarország nem engedheti meg, hogy olyan helyzetbe hozza magát, hogy a nemzetközi porondon a térbeli talajinformációk kezelése terén „tudás segélyre” szoruljon. Éppen ellenkezőleg, aktív szereplőként a tudás transzfer szolgáltatói oldalán kell teret foglalnia. A dolgozatban bemutatott munkáink és eredményeink ezt a hozzáállást támogatják.

### 1.3 Hagományos és digitális talajtérképezés

A talajtérkép olyan tematikus térkép, amelyen a tematikát valamely, a talajokra vonatkozó információ határozza meg. Ez lehet elsődleges vagy másodlagos (származtatott) tulajdonság, illetve osztály, valamint a talaj funkcióira, folyamataira, szolgáltatásaira vonatkozó ismeret. Az akár kvantitatív, akár kvalitatív talajjellemzőket megjelenítő térképek szerkesztésének legnagyobb és megkerülhetetlen kihívása a lokális ismeretek regionalizálása, azok térbeli kiterjesztése. A talaj egyes tulajdonságainak megismerése mintavételezéssel történik, ami definit módon pontos információt szolgáltat, térkép készítéséhez a pontokra vonatkozó adatokat megfelelően választott módszerrel térben ki kell terjeszteni. A talajtérképezés fejlődése bizonyos szempontból e módszerek tárházának tudatos bővítése a mentális térhasználattól a talaj-táj modellek alapján történő (alap)térképi lehatároláson át a különböző (mechanikus, geometriai, térinformatikai, geostatistikai) interpolációs módszerekig, illetve a talajképződési folyamatok egyes komponenseire vonatkozó térképi alapú környezeti adatok segédváltozókként való bevonásáig (Yaalon 1989; Brown 2006; Legros 2006; Grunwald et al. 2011; Hartemink et al. 2013; Miller & Schaetzl 2014; Brevik et al. 2015; Minasny & McBratney 2016; Arrouays et al. 2017a; Keskin & Grunwald 2018). Annak ellenére, hogy minden térkép egy adott modell alapján végzett térbeli becslés eredménye, ami ebből következően hibával terhelt, ennek a hibának a mértékéről és térbeli eloszlásáról a hagyományos (talaj)térképek nem szoktak megemlékezni (Hewitt 1993; Kempen 2011; Minasny & McBratney 2016). A korszerű, gyakran prediktívnek nevezett talajtérképezés (Hewitt 1993) alap hipotézise, hogy a térképezendő változóra a vizsgálati terület minden pontjában megbízható becslés adható, amelynek hibája szintén becsülhető.

A mintavételezésen alapuló térképezés inherens módon prediktív, a fel nem keresett helyekre vonatkozóan csak becsülhető az aktuális változó értéke, illetve osztálya (Gessler et al. 1995; Scull et al. 2003). A térbeli becslés történhet: (i) kizárólag a térképezendő változó figyelembevételével, annak térbeli tulajdonságai alapján; (ii) szintén a térképezendő változó alapján, de a kiterjesztés érvényességének korlátait egyéb térképi alapú kiegészítő információk szolgáltatják; illetve (iii) minden becslési pontban kiegészítő környezeti segédváltozó(k)ra támaszkodva (McKenzie & Ryan 1999; Pebesma 2006).

A talajokra vonatkozó különböző adatrendszerek térbeli és tematikus felbontása igen eltérő lehet (Várallyay 2005; Garten et al. 2007; Stoorvogel 2015). Az egyes térképi alapú modellezésnél a felhasználható adatok nem feltétlenül állnak az igényelt formában rendelkezésre. Az utóbbiak tematikusan, térbeli felbontásban, esetleg mindkettőben eltérnek az előbbiektől. Ilyenkor tematikus és/vagy térbeli adatszámaztatásra van szükség. A talajok vonatkozásában ehhez az elméleti talajtan által kidolgozott pedotranszfer szabályok és függvények (van Looy et al. 2017), illetve a talajtérképezés hagyományos és digitális módszerei (Minasny & McBratney 2016) nyújtanak segítséget. Egyik esetben sem lesznek, mert nem is lehetnek, a származtatott adatok abszolút pontosak. A következtetések pontosságát a szabályok megállapítását lehetővé tevő mérések, az alkalmazott matematikai modellek, az interpolációs eljárások és még számos további körülmény határozza meg. A térbeli modellezés megbízhatósága egyszerre függ az alkalmazott tematikus és térbeli származtatás pontosságától (Goovaerts & Journel 1995; Heuvelink & Webster 2001). Az adatok térbeli részletességének és reprezentativitásának legalább akkora szerepe van a végeredmény megbízhatóságában, mint a nyers vagy levezetett alapadatok pontosságának.

Kévs, de nagyon pontos adat nagy területre történő térképi ábrázolásából nem várhatunk el a forrással összemérhető, egyenletes pontosságot a legjobb térképezési módszerek esetén sem, a minden interpolációs eljárásban jelenlevő határozatlanság miatt. Törekedni kell azon kompromisszum megtalálására, amelynél a tematikus és térbeli pontosságot meghatározó tényezők egyensúlyban vannak az optimális eredmény elérése érdekében (Goodchild et al. 1999).

A talajok térbeli változékonyságának leírására alapvetően két, egymásnak látszólag ellentmondó, de egymást kiegészítő koncepció használatos (Peuquet 1988; Goodchild et al. 1992; Burrough et al. 1998; Heuvelink & Webster 2001; Grunwald et al. 2011). Az egyik megközelítés lényegében a hasonlóságra épít és alapvetően objektum alapú. Homogén, vagy becsülhető összetételű aggregátumokból álló térképi egységekkel, talajfoltokkal reprezentálja a talajtakarót. Ennek térképi megjelenése a jelentős hagyományokkal rendelkező klasszikus talaj(folt)térkép (Malone et al. 2018). E talajtérképekbe foglalt modell szerint a talajtulajdonságok a térképi egységeken belül az adott felbontásban homogének vagy kartográfiailag tovább nem bontható formában heterogének; a folthatároknál pedig a térképezendő talajtulajdonság(ok)ban szakadás van (Voltz & Webster 1990; Webster & Oliver 1990; Dobos & Hengl 2009). A talajfolt modellel kapcsolatban számos kritika fogalmazódott (Webster & De La Cuanalo 1975; Nortcliff 1978; Nettleton et al. 1991; McBratney and de Gruijter, 1992; Heuvelink and Webster, 2001), ami egyik jelentős hajtóereje volt a pedometria kialakulásának és fejlődésének. A másik megközelítés a talajtulajdonságok folytonos térbeli változását hangsúlyozza. A térképezendő talajtulajdonságot cellánként becsüljük (Goovaerts 1997; Chilès & Delfiner 1999; Webster and Oliver, 2001), a térbeli felbontást pedig a cella mérete határozza meg (Mark & Csillag 1989; Hengl 2006). A térinformatikai raszteres adatmodellek ezen reprezentációhoz ideális keretet biztosítanak (Grunwald et al 2011). Megemlíthető, hogy léteznek a két koncepció közötti kompromisszumos megoldások, pl. a fuzzy modellezés által a talajtérképezés számára nyújtott lehetőségek (McBratney & Odeh 1997; Zhu et al. 2001; Qi et al. 2006; De Menezes et al. 2013; Duarte et al. 2013), de ezek elterjedtsége elhanyagolható a két fő irányéhoz képest (Grunwald & Lamsal 2006).

A tematikus térképek jellemzően a tematikus ábrázolásból és a topográfiai alapinformációkat szolgáltató térképi alapról állnak. A talajtérképezés is hagyományosan támaszkodik alaptérképi támogatásra egyrészt az ábrázolandó talajtulajdonság térbeli változékonyságának értelmezésére, modellezésére és főképp a talajfoltok lehatárolására; másrészt a véglegesített tematikus térképi információ megjelenítésének is keretét, illetve háttérét adják (Miller & Schaetzl 2014).

A talajtérkép a talajtakaró célspecifikus térbeli modellje, melynek megalkotása a talajképző folyamatok szem előtt tartásával történik (Fridland 1974; Böhner et al. 2003). A talajtérképezésben hatalmas változást hozott az egyes talajképző tényezők szerepének numerikus formalizálása. A digitális talajtérképezés térinformatikai környezetben integrálja a talajtani és környezeti adatokat, a klasszikus talajtani tudást és a modern adatbányászati, geostatistikai módszereket (McBratney et al. 2003). További lehetőség a célspecifikusan, feladatorientáltan elvégzett elemzések eredményeként a felhasználói igényeket célzottan és optimálisan kielégítő talajtérképek megalkotása (Pereira et al. 2017), amiben jelentős szerep hárul az archív, de digitálisan már feldolgozott talajtani adatokra (Arrouays et al. 2017b).

A talajtérkép definíciójának három központi tényezőjét érintően is jelentős és lényegében egyidejű változások történtek, amelyek hatásának köszönhető a digitális talajtérképezés megerősödése, majd elterjedése az utóbbi másfél évtizedben (McBratney & al., 2003; Dobos & al., 2006; Lagacherie et al. 2007; Hartemink et al. 2008; Boettinger et al. 2010.; Minasny et al. 2012; Arrouays et al. 2014b; Zhang et al. 2016)

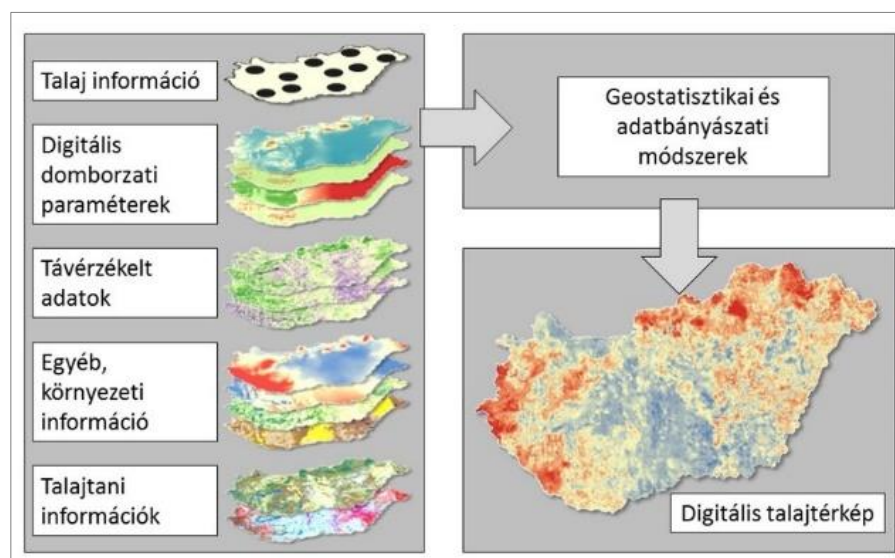
- A talajképző folyamatok egyes szegmenseire közvetve vagy közvetlenül vonatkozó térinformatikai (térbeli és egyben digitális) információk egyre nagyobb mennyiségben, egyre nagyobb térbeli felbontásban és egyre olcsóbban váltak elérhetővé.
- Az így elérhető ún. környezeti segédinformációk és a talajok egyes jellemzői közti, néha igen bonyolult és áttételes kapcsolatok számszerűsítésére determinisztikus modellek híján is hatékony alkalmazható matematikai (geo)statistikai és adatbányászati eszközök jöttek létre. Eredendően ugyan teljesen eltérő szakterületek problémáinak kezelésére, de jelen kontextusban számos esetben mégis jól adoptálhatóaknak bizonyultak.
- A globalizációs folyamatokkal párhuzamosan nyilvánvaló vált, a világ talajtakarójának ismerete mily nagymértékben inhomogén. Ez egyrészt a Világ nagy részén csak igen korlátozott konkrét talajtani adatok alapján is viszonylag megbízható talajtérképek előállítását és ezzel ezen területek talajtérképi információkkal való legalább minimális lefedettségének elérését indukálta. Másrészt az egységesítés alapjainak kidolgozását, hiszen (legalábbis ahol volt ilyen) a korábbi térképezések nemzetállamok szintjén, független módszertanok alapján történtek, melynek eredményeképpen a természetföldrajzilag folyamatosan változó talajtakaró leképezésében az országhatárok mentén mégis mesterséges törések mutatkoznak.



A digitális talajtérképezés (DTT) lényege (1.4 ábra): a talajra vonatkozó, mintavételből származó információk térbeli kiterjesztése a térképezendő területre teljes fedettséget biztosító, a talajképződési folyamatokkal, illetve azok következményeivel kapcsolatban álló, környezeti tényezőkre vonatkozó térbeli változók segítségével. A DTT az úgynevezett SCORPAN egyenlet (McBratney et al. 2003) segítségével formalizálható:

$$S_{\text{tulajdonság vagy osztály}} = f(S, C, O, R, P, A, N) + \varepsilon, \quad (1.1)$$

ahol a bal oldalon a térképezendő kvantitatív vagy kvalitatív talajtulajdonság vagy általánosabban vett talajtani jellemző szerepel. Jobb oldalon a talajképző folyamatok (**C**limate, **O**rganisms, **R**elief, **P**arent material, **A**ge, geographic positio**N**; azaz: Klíma, Növényzet, Domborzat, Alapkőzet, Kor, Földrajzi helyzet) az adott célváltozóra prediktív realizációi, kiegészítve a talajra (**S**oil) vonatkozó egyéb hasznosítható és rendelkezésre álló térképi alapú adatokkal,  $\varepsilon$  pedig a térbelileg autokorrelált hiba (Minasny & McBratney 2016). A SCORPAN modell lényegében a Dokucsájev (1899) munkássága alapján a Jenny (1941) által a talajképződésre megfogalmazott CLORPT egyenlet továbbfejlesztése, amely egyrészt túllép az egyszerű formalizáláson, megteremtve a predikció kivitelezését, másrészt bővítette annak kereteit, bevonva a talajokra vonatkozó további információkat és legfőképpen a térbeliséget. Minasny & McBratney (2016) kihangsúlyozzák, hogy a SCORPAN modell eredendően nem a talajképződés tényezőit próbálja magyarázni, hanem a kvantitatív és kvalitatív talajjellemzők térbeli predikciójához nyújt eszközt. A matematikailag formalizált összefüggések értelmezése viszont hozzásegíthet a mentális talaj-táj modellek jobb megértéséhez (Hannam 2015).



1.4. ábra A digitális talajtérképezés koncepciója.

A prediktív talajtérképezésben leggyakrabban használt környezeti segédváltozók egyrészt a digitális domborzatmodellekből származtatott morfológiai deriváltak, másrészt a távérzékelés által szolgáltatott többidőpontú, multispektrális képi információk (Minasny & McBratney 2016; lásd továbbá 1.5.2 fejezet). A függő (térképezendő) és független (a térképezést segítő prediktor) változók közti kapcsolat funkcionális realizációjára (f) számos módszer ismeretes, amelyek alapvetően az alábbi három csoport egyikébe tartoznak.

- Amikor a prediktív térképezés kizárólag a térképezendő változóra rendelkezésre álló adatok alapján történik, térbeli interpolációról beszélünk, aminek háttérében Tobler Első Földrajzi Törvénye áll (Tobler 1970), mely szerint „Minden mindennel összefügg, de az egymáshoz közelebbi dolgok közti kapcsolatok erősebbek”, ami a térbeli autokorreláció koncepciójának egy alternatív megfogalmazása. Az ide tartozó módszerek lényege, hogy a földrajzi (geometriai) térben működnek. A különböző interpolációs eljárások közül azokat, amelyeknél a környezeti elem sztochasztikus modellezése dominál, geostatistikai módszereknek hívjuk (lásd 1.5.3 fejezet).
- Amikor a predikciót környezeti segédváltozókra alapozva próbáljuk kivitelezni, a legfőbb kihívást a térképezendő változó és a térképezésben használt prediktor változók közti kapcsolat kvantifikálása jelenti. Különböző általánosított osztályozási, (gépi tanulási, adatbányászati) módszerek a feladat megoldására megfelelően bizonyultak. Ezen eljárások alapvetően a fázistérét vizsgálják, annak szerkezetét elemezve a rejtett és/vagy komplex kapcsolatok feltárása érdekében. Regressziós és osztályozó fákat, véletlen erdőket, neurális hálókat, különböző Bayesi módszereket, szupport vektor gépeket és egyéb további módszereket alkalmaznak sikerrel különböző digitális talajtérképezési feladatokban (lásd 1.5.4 fejezet).

- Vannak továbbá olyan hibrid módszerek, amelyek nem kizárólag a földrajzi vagy a fázistérre koncentrálnak. A két leggyakrabban használt eljárás a kokrigelés, illetve a regresszió krigelés. A kokrigelés során a geostatistikai interpolációt egy sűrűbben mintavételezett és a térképezendő változattal térben korreláló segédváltozó teszi hatékonyabbá. A regresszió krigelés során a térképezendő változó varianciáját két részre osztjuk: a trendet a segédváltozók segítségével elvégzett többváltozós lineáris regresszió eredményével becsüljük; a magyarázott részen felül megmaradó reziduumokat ezt követően krigelés révén interpoláljuk. A végeredmény a determinisztikus és a sztochasztikus tényező eredőjeként áll elő. Mind a determinisztikus, mind a sztochasztikus tényező modellezésére újabb és újabb eljárások nyerne teret, illetve ezek lényegében tetszőleges kombinációja kap szerepet legújabbban a digitális talajtérképezés gyakorlatában (lásd 1.5.4 fejezet).

A térbeli kiterjesztés lehetőségeinek és a potenciálisan elérhető környezeti segédváltozók széles tárházának köszönhetően számos lehetőség adódik egy adott talajtérkép származtatására (Grunwald 2009; Hengl 2009; Mulder et al. 2011; Minasny & McBratney 2016; Heung et al. 2016; Heuvelink et al. 2016; Malone et al. 2016;). Azaz nemcsak egy és kizárólagos módszer alapján készíthető el egy bizonyos adatigényt kielégítő térképi állomány, hanem kompetitív módszercsaládok és segédinformációk számos kombinációja szerint. Másképp fogalmazva egy adott célt kielégítő térkép maga is számos realizáció formájában születhet meg, amelyek tematikus tartalmuk, felbontásuk, pontosságuk, megbízhatóságuk szerint különböz(het)nek. Célspecifikus digitális talajtérképezés keretében a térképi termék paraméterei előre specifikálhatók, így a megalkotásához felhasználható módszerek és segédinformációk az alapján jelölhetők ki, mennyiben képesek az adott elvárást teljesíteni. Egy meghatározott területre vonatkozó, talajtani céltérkép előállításához a következőkre van szükség:

- A céltérkép paramétereinek megadására (tematikus tartalom, felbontás, pontosság, megbízhatóság).
- A térképezendő változóra vonatkozó referencia adatokra, amelyek mennyisége és minősége a céltérkép tervezett paramétereivel összhangban áll. Ezen adatok származhatnak archív vagy aktuális felvételekből, illetve talajtérképekből.
- Az adott területre teljes fedettséget biztosító, a cél tematika szempontjából releváns talajképződési folyamatokra vonatkozó, térképi alapú környezeti segédadatokra a céltérkép felbontásával összemérhető térbeli felbontású reprezentációban.
- A SCORPAN egyenlet funkcionális végrehajtását lehetővé tevő módszer(ek) kiválasztására és a rendelkezésre álló térinformatikai-geomatematikai környezetben történő implementálására.

A DTT keretében a talajjellemzők térképi megjelenése kvantitatív térbeli becslés eredménye, melyet a modellezés lényegéből következően kiegészít a predikció globális és lokális bizonytalanságára adott becslés (Heuvelink & Webster 2001; Brus et al. 2007a; Truong & Heuvelink 2013; Heuvelink 2014), ami lehetővé teszi az egyes térbeli predikciók összehasonlítását és ennek köszönhetően a térképezés eredményének optimalizálását. A DTT további fontos előnye, hogy az eredmények felülvizsgálhatók és javíthatók új bemeneti (referencia és/vagy segéd) adatok rendelkezésre állása esetén (Malone et al. 2018).

A SCORPAN modellen (McBratney et al. 2003) alapuló, legkorszerűbb talajtérképezési technológiákat jellemzően elsődleges talajtulajdonságok nagy felbontású térbeli becslésére dolgozták ki (Adhikari et al. 2013; Arrouays et al. 2014b; Viscarra Rossel et al. 2015; Hengl et al. 2017; Mulder et al. 2016, etc.) a DTT alkalmazása azonban túlmutat az elsődleges és másodlagos talajtulajdonságok térképezésén, hatékony eszközként lehet rá támaszkodni a talajok magasabb szintű, általánosabb jellemzőinek (folyamatok, funkciók, szolgáltatások) regionalizálásában is (Minasny et al. 2012; Brevik et al. 2016; Minasny & McBratney 2016; Keesstra et al., 2016; Vereecken et al., 2016; Arrouays et al. 2017a; Grenier et al. 2017; 2018).

A hagyományos talajtérképek megalkotása hosszadalmas folyamat eredménye, kezdve a felvételezéstől, a talajtérkép modellek adott környezetben való leképezésén át, a végtermékek kartografálásáig (Kempen 2011; Malone et al. 2018). Ezért a klasszikus térképek kapcsán fel sem merülhetett gyorsan változó talajjellemzők regionalizálása, illetve a térképek gyakori felülvizsgálata, reambulációja, utólagos javítása, pontosítása. A térképek robosztus információk megjelenítésével hosszabb távú felhasználásra készültek (Kempen 2011; Malone et al. 2018). A digitális talajtérképezés jelentősen lerövidítette az adattól a térképig vezető folyamat időtartamát, lehetővé tette továbbá a felhasználói igények nagyságrendekkel rugalmasabb figyelembevételét. A digitális talajtérképeket a tematikus robosztussággal szemben a feladatorientáltságban, a célspecifikusságban megmutatkozó funkcionális jellemzi (Malone et al. 2018).

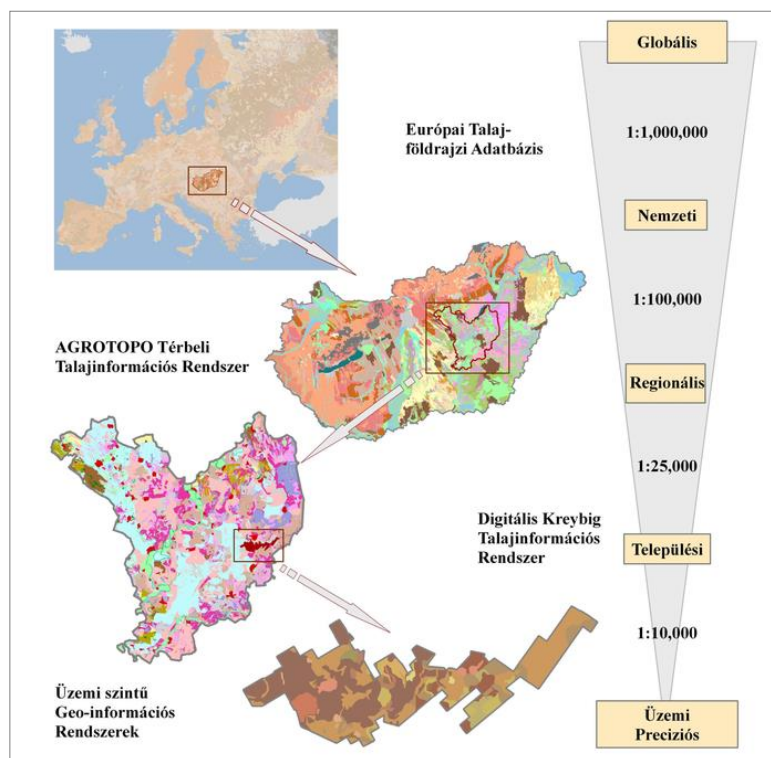
Röviden összefoglalva a térbeli talajinformációk (alap és általánosabb értelemben vett talajtérképek) értelmezésének és előállításának új paradigmája a következőkre épül:

- A talajjellemzők térképi megjelenése térbeli becslés eredménye.



- A térbeli becslés alapja a térképezendő területre teljes fedettséget biztosító, a talajképződési folyamatokkal, illetve azok következményeivel kapcsolatban álló, környezeti tényezőkre vonatkozó térbeli változók és a térképezendő talajtulajdonság kapcsolatának modellezése.
- A térbeli modellezés geoinformatikai környezetben történik geostatisztikai és adatbányászati módszerek, illetve ezek kombinációinak felhasználásával.
- A korszerű módszerek a térképi eredményen túl a térbeli becslések globális és lokális pontosságát és megbízhatóságát is szolgáltatják.
- A térképi végtermék a felhasznált referencia és segédadatok, illetve a módszer(ek) hármának eredménye; minősége és használhatósága ezek függvényében alakul. Ezért a térbeli becsléshez a legteljesebb és egyben az aktuálisan elérhető legpontosabb adatok felhasználása javasolt mind a térképezendő változó, mind a modellezésben használt segédváltozók részéről.
- Az új környezetben előállított talaj téradatak (talajtérképek) tematikájukban, azok reprezentációjában, mélységi vonatkoztatási lehetőségeikben messze túl mutatnak a korábbi térképek által közvetített tematikus tartalmakon.
- Az újonnan előállított talaj téradatak és az azok alapján szerkesztett, kartografált térképek az adott tematikán túl az elkészítésükre és a pontosságukra vonatkozó információkkal együtt alkotnak egységes adatrendszert.
- A térképezett talajtani változókat a tematikai robusztussággal szemben a feladatorientáltságban, a célspecifikusságban megmutatkozó funkcionalitás jellemzi.

#### 1.4 A digitális, térképi alapú, talajtani adatigények kiszolgálásának hazai lehetőségei

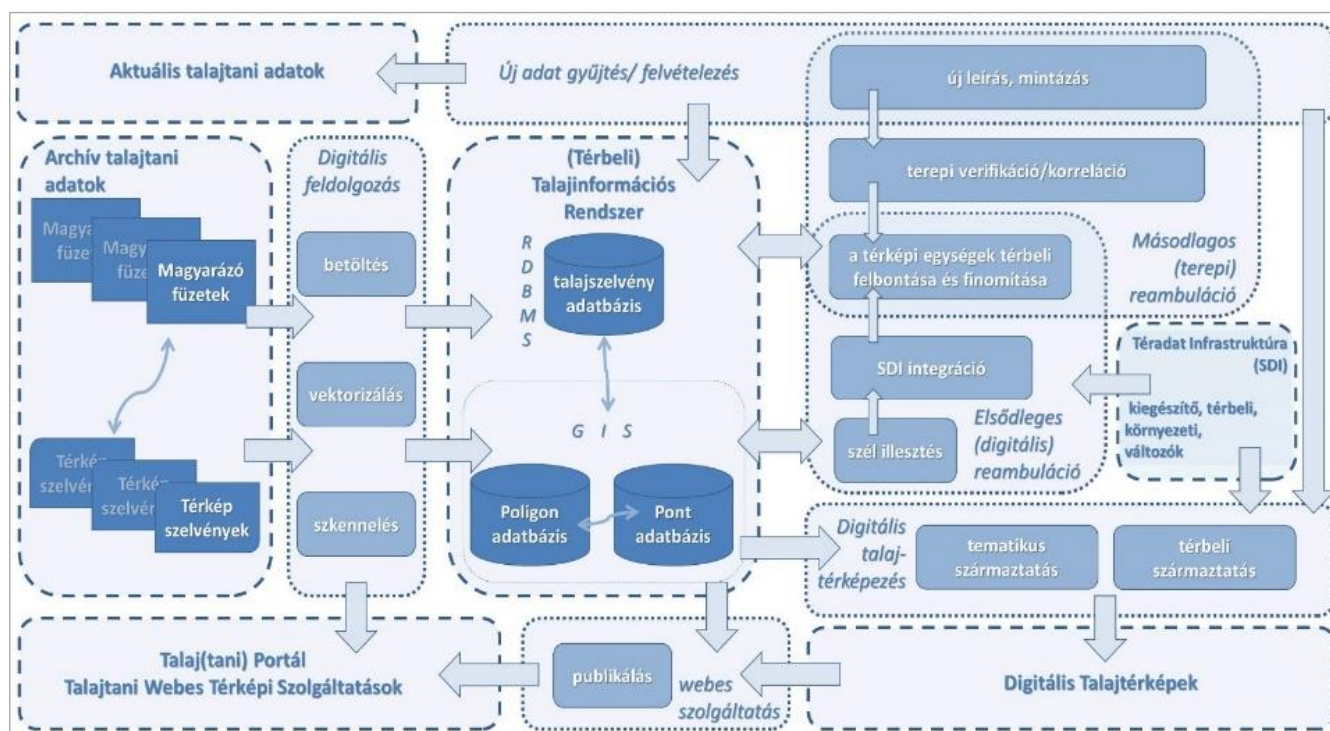


1.5. ábra A talajtérképezés elkülönülő, egymásra épülő szintjei.

A talajok különböző statikus és dinamikus jellemzőire (állapotára, folyamataira, funkcióira), illetve a környezeti folyamatokban betöltött szerepére vonatkozó térképi alapú információk iránti igények mind hazai, mind nemzetközi szinten számottevőek és folyamatosan bővülnek (Blum 2005; Szabó et al. 2005; Cook et al. 2008; Sanchez et al. 2009; Baumgardner 2011; Panagos et al. 2012; Sisák & Benő 2012, 2014; Omuto et al. 2013; McBratney et al. 2014; Kocsis et al. 2014, 2015; Tóth et al. 2015). Talajokra vonatkozó, akár térbeli adatok ugyan rendelkezésre állnak, de az elvárások és a lehetőségek gyakran jelentősen eltérnek. A korábban gyűjtött, térképezések, felvételezések által szolgáltatott információk hosszú időn keresztül jól szolgálták a felmerült társadalmi igényeket. A talaj multifunkcionalitásának széleskörű felismerése azonban éppen az adatgyűjtésre fordítható erőforrások beszűkülésével egyidőben következett be (Hartemink et al. 2008). Az aktuálisan rendelkezésre álló (korábbi felvételezések által szolgáltatott, illetve az azokból levezetett), illetve a felhasználók által specifikusan megkívánt térképi alapú információk pedig nem okvetlenül, sőt egyre ritkábban fedik egymást.

A korábbi kiterjedt adatgyűjtés, felvételezés, térképezés célja, az annak alapján elvégzett munka, illetve az ezek eredményeképpen született térképi alapú adatforrások direkt módon nem feltétlenül alkalmazhatók egy adott, talajtani információkat igénylő problémakör kapcsán (Szabó et al. 2007b; Dobos et al. 2010; Szatmári et al. 2013; Sisák & Benő 2014; Waltner et al. 2014). Emiatt számos esetben a döntéshozók aktuális igényeinek kielégítése sem történhet meg megfelelő hatékonysággal, szükség van a létező talajtani információk kiegészítésére, javítására, harmonizációjára és integrálására. A talajokra vonatkozó térképi alapú információk iránti igény megfelelő kielégítése a digitális talajtérképezés keretei között elméleti módszerfejlesztés és annak gyakorlati alkalmazása révén lehetséges, archiv és aktuális talajtani adatok, kiegészítő környezeti információk, geoinformatikai és alkalmazott matematikai (geostatistikai, adatbányászati) módszerek feladat specifikus integrációja révén.

A talajokra vonatkozó térbeli adatok elérhetőségében nagy különbségek tapasztalhatók az egyes országok között. Magyarország azon országok közé tartozik, melyek jelentős hagyományokkal bírnak a talajtérképezések terén (Várallyay 1989, 2005, 2012; Tóth et al. 2007). Hatalmas mennyiségű talajtani információ érhető el, az adatgyűjtések különböző léptékekben történtek a gazdálkodástól az országos szintig (1.5 ábra). Az egymást követő térképezések felvételezési célja és módszere is különbözött, így az eltérő célok eltérő talajtani jellemzők hangsúlyozásához vezettek.



1.6. ábra Talajtani információk elérhetőségének módjai és a közöttük fennálló kapcsolatrendszer áttekintése.

A hazai digitális, térképi alapú talajtani adatigények aktuális kiszolgálására többféle lehetőség adódik (1.6 ábra). Az ideális megoldás minden felmerülő probléma esetén egyedi, specifikus, térben és tematikusan is nagy részletességű adatgyűjtés lenne. A talajokra vonatkozó adatok gyűjtésének globálisan is jellemző beszűkülése azonban hazánkban is felváltotta a korábbi idők adatbőségét. Magyarországon a XX. században eltérő célokkal és felbontásban, országos talajtérképezések folytak, melyek tudományos alapjait olyan kutatóhelyek dolgozták ki, mint a Magyar Királyi Földtani Intézet (Kreybig 1937), illetve a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Intézete (Szabolcs 1966; TIM 1995)<sup>1</sup>. Az utóbbi évtizedekben azonban annak ellenére, hogy azt egyre több cél kiszolgálására is igényelnék, új talajtérképezés megtervezésére és megindítására nem sikerült programot indítani, forrásokatallokálni.

<sup>1</sup> Ráadásul, számos egyéb környezeti elemmel ellentétben, Magyarországon nincs olyan központi szervezet, amely a talajokra vonatkozó aktuális adatok gyűjtéséért felelős lenne, azt tudományos alapokon, célirányosan tervezné, koordinálná. Pedig adatgyűjtések folynak, csak széttagoltan és a gyűjtött adatok nem érhetőek el egy jól felépített adatinfrastruktúrában. Ráadásul az adatok gyűjtésének körülményeit kevésbé hatják át a tudományos igények, és tervezésük során egyáltalán nem vettek figyelembe olyan követelményeket, amelyek az adatok térképezésében való alkalmazhatóságukra vonatkoztak volna. Szerencsére a talajtérképezés korszerű módszerei segítségével ez utóbbi nehézség a korábbiakhoz képest könnyebben kezelhető, de egy koherens rendszerben kivitelezett, mintavétel optimalizáció által tervezett térbeli adatgyűjtés hatékonysága ezt messzemenően meghaladná (lásd 5. fejezet).

Részben az új adatgyűjtési lehetőségek beszűkülésének, részben a térinformatika robbanásszerű fejlődésének köszönhetően az 1980-as évektől kezdődően a hazai, térképi alapú talajtani információk jelentős része digitális feldolgozásra került és beépült különböző térbeli talajinformációs rendszerekbe (TTIR; Szabó et al. 2000; Szabó 2002a,b; Dorka 2004; Takács et al. 2004; Tóth et al. 2006; Sisák & Benő 2012, 2014; Pásztor et al. 2013c; Kocsis et al. 2015).

Az első hazai, országos léptékű, széles körben használt térképi alapú adatrendszer az AGROTOPO, mely a „Magyarország agroökológiai potenciáljának felmérése” című országos program keretében elkészült 1:100.000 méretarányú „Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó tényezők” térképeinek (Várallyay et al. 1979, 1980) térinformatikai feldolgozásával készült (Szabó & Pásztor 1994). Az adatbázis országos és regionális szinten hasznosítható adatokat tartalmaz.

A talajjal kapcsolatos különböző tevékenységekhez (környezetvédelem; racionális művelési ág és vetésszerkezet; termőhely-specifikus precíziós agrotechnika; nedvességforgalom-szabályozás; földértékelés; talajvédelem stb.) ennél részletesebb térbeli felbontású térképi alapú talajtani információk szükségesek. Ezen igények részleges kielégítésére a korábbiakban született, átnézetes és nagy méretarányú, gyakorlati felhasználás orientált térképekre lehet számítani térinformatikai feldolgozásuk után. Az egész ország területére elvégzett Kreybig-féle átnézetes talajismereti térképezés (Kreybig 1937) során felgyülemlett információkincset digitális feldolgozásának és az ezen alapuló Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer (DKTIR; Pásztor et al. 2010a, 2012) kialakításának bizonyos szempontból kitüntetett szerep jutott, mivel ez a legrészletesebb, az ország teljes területére elkészült térképi alapú talajtani adatrendszer. A DKTIR a Kreybig-féle térképezés (Kreybig 1937) adataira épülő, de egyúttal a térinformatika nyújtotta lehetőségeket is kihasználó országos, térbeli talajinformációs rendszer (Szabó et al. 2000), mely az igények változására reagálva, maga is folyamatosan alakul (Pásztor et al. 2012), lehetővé téve a rugalmasabb és többcélú felhasználását számos feladat-specifikus, digitális talajtérképezési eljárásokra épülő alkalmazásban (Bakacsi et al. 2012a; Pásztor et al. 2007, 2010b, 2013a, 2016a; Szabó et al. 2007b).

Az 1960-tól 1970-ig az ország mezőgazdasági területének mintegy kétharmadára elkészült genetikai üzemi térképek és tematikus kartogramok, valamint a Nemzeti Földértékelési Program keretében összegyűjtött talajtani információk egységes módszertan szerinti térinformatikai feldolgozása lenne a következő lépés a hazai talajtérképi adat vagy digitális archiválásában, ami további hatalmas lehetőségeket nyitna az erre épülő, célspecifikus digitális talajtérképezési munkáknak számára is. Sajnos a számos ígéretes kezdeményezés (Pásztor et al. 2002; Tóth et al. 2006; Sisák et al. 2008; Kocsis et al. 2011, 2014) ellenére sem látszik, hogy milyen koordinációban és mikorra lehetne ezt, a sok szempontból fontos munkát elvégezni.

A talajfolt alapú vektoros adatbázisok sokrétű felhasználhatóságuk ellenére is statikusnak tekintendők. Számos előnyük ellenére a két leginkább ismert és széles körben használt TTIR (az AGROTOPO és a DKTIR) eredeti adatrendszere nem a mai igények kielégítésére jött létre és semmi esetre sem tekinthetők onnipotensnek. A georeferált talajszelvényeken alapuló adatbázisok a többszempontú felhasználhatóságuknak köszönhetően messze nagyobb potenciált biztosítanak, mint például a Kreybig térképezés összes felvételezési információja, amely digitális formában rendelkezésre áll és így számos újabb, digitális térképezési feladatban is felhasználható. A korábbi hazai adatgyűjtésekre alapozva egyben a globális trendeknek megfelelően megkezdődött a hazai talaj téradat infrastruktúra megújulása a rendelkezésre álló erőforrások kiaknázásával, az igényekkel és nemzetközi irányokkal szinergiában. Ezek keretében az elmúlt pár évben már születtek országos fedettségű, tematikus talajtulajdonság térképek (termőréteg vastagság, textúra, szemcse frakciók, szabadföldi vízkapacitás, szervesanyag tartalom, CaCO<sub>3</sub> tartalom, pH, etc.) a talaj egyes rétegeire vonatkozóan különböző digitális talajtérképezési módszerek felhasználásával<sup>2</sup>.

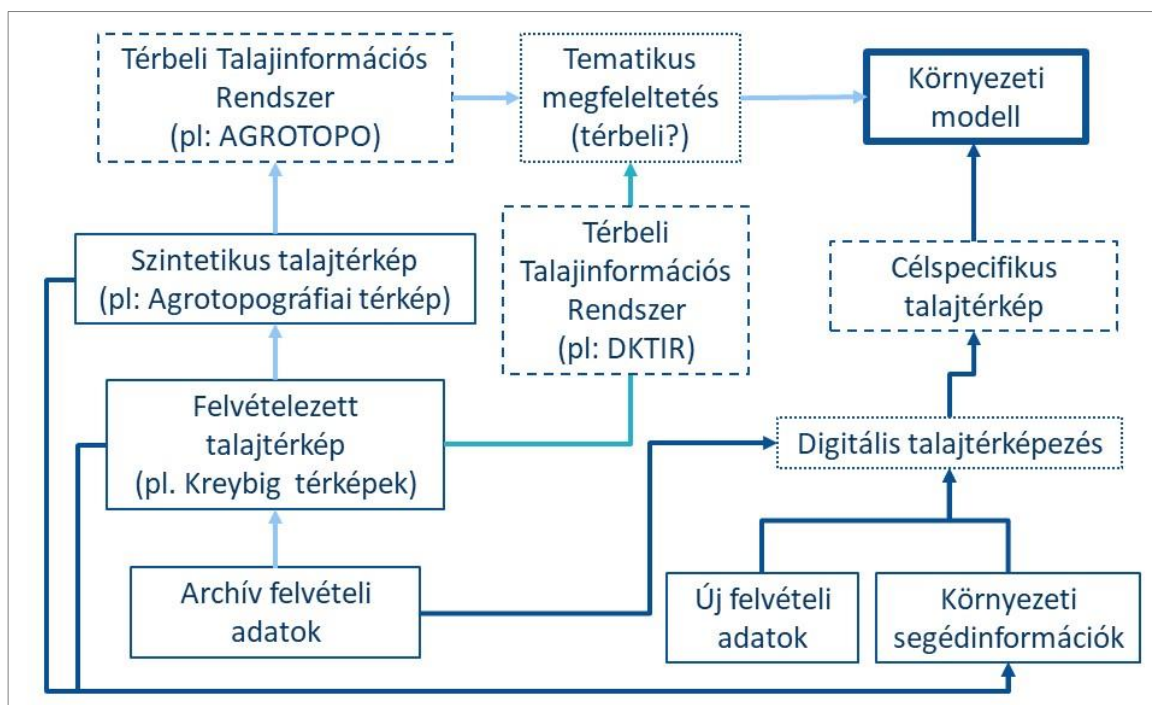
Dobos és munkatársai (2016) a Duna Régió környezeti modellezésének támogatására készítették el annak digitális talajtípus térképét WRB talaj referencia csoport szinten, 463 méteres térbeli felbontással. Az automatikus osztályozáshoz szükséges WRB diagnosztikák előfordulási valószínűségi térképei DTT környezetben születtek. Tóth és munkatársai (2015) Magyarország mezőgazdasági területeinek feltalajára (0-25 cm) szerkesztettek talajtulajdonság térképeket az AIIR, a MARTHA és a LUCAS adatbázisok adatainak feldolgozása alapján. A 250 m térbeli felbontású fizikai féleség, pH, mésztartalom, szervesszén-tartalom, humusztartalom, por-, agyag- és homokfrakció térképek megtekinthetők a [http://airterkep.nebih.gov.hu/gis\\_portal/talajvedelem/kiadv.htm](http://airterkep.nebih.gov.hu/gis_portal/talajvedelem/kiadv.htm) címen. Illés és munkatársai (2016) erdészeti és mezőgazdasági termőhelyi adatbázisok egyesítésével szerkesztettek digitális talajtérképeket, melyek többsége (genetikai típus, fizikai féleség és termőréteg vastagság) elérhető az ERTIGIS portálról (<http://www.ertigis.hu/index.php/térképszolgáltatások/siteviewer>). A DOSoReMI.hu (Digital, Optimized, Soil Related Maps and Information in Hungary; azaz Digitális, Optimalizált,

<sup>2</sup> Nem országos fedettséggel ugyan, de hasonló elvek szerint végez térképezési munkákat Kassai és Sisák (2018) a Balaton vízgyűjtőjén, illetve Dobos és munkatársai (2017) mezőgazdasági tábla szinten.



Általános értelemben vett Talaj térképek és Térbeli Információk; Pásztor et al. 2015, 2018b) kezdeményezés kimondott célja pedig a hazai talaj téradat infrastruktúra megújítása (lásd 4. fejezet).

A térbeli talajinformációk (talaj téradat infrastruktúra) fejlődésével az adatigények kielégítése is jelentősen átalakult (1.7 ábra). Eleinte csak a kisméretarányú és tematikusan is erősen generalizált adatokat tartalmazó AGROTOPO TTIR-t lehetett alkalmazni egy adott környezeti modellben kategóriarendszerének tematikus megfeleltetése és térbeli felbontásának korlátai mellett. Mivel az AGROTOPO alapját adó Agrotopográfiai térképek szintetizáló munka eredményeként születtek döntően a Kreybig-féle térképmű alapján, ezért a DKTIR országos kialakítása lehetővé tette a környezeti modellek nagyobb térbeli felbontású adatokkal történő kiszolgálását. A tematikus megfeleltetés problémája azonban nem oldódott meg, mivel a Kreybig talajfolt struktúra a felvételezés egyszeri, adott szempontrendszer szerint szerkesztett, tematikusan erősen egyszerűsített terméke. A Kreybig térképezés georeferált talajszelvények formájában rendelkezésre álló, felvételezési információi azonban nagyon jól felhasználhatók referenciaként digitális térképezési feladatokban. Amelyek kétféleképpen is tovább fejleszthetők. (i) A SCORPAN modell alapján mind a Kreybig térképekbe, mind pedig az Agrotopográfiai térképsorozatba beépült talaj-táj modellek hasznosíthatók, a térképi alapú talajadatokat környezeti segédváltozókként alkalmazva. (ii) Az archív felvételi adatok kiegészíthetők aktuális felvételezésből származókkal, amelyek magukban esetleg nem lennének elegendők térképezési feladatokban való hasznosulásukhoz. Mindez együtt utat nyit a célspecifikus talajtérképezéshez, amely feladatorientáltan képes kielégíteni az adott környezeti modell térbeli adatigényeit.



1.7. ábra Egy környezeti modell digitális térképi adatigényének kielégítési lehetőségei.

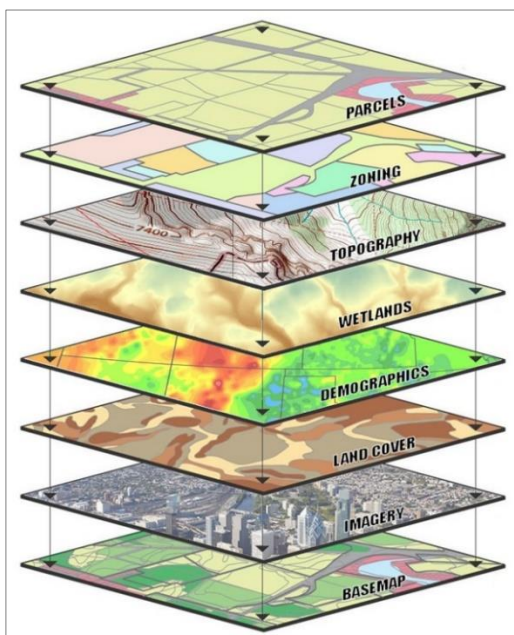
## 1.5 A digitális talajtérképezés pillérei

A digitális talajtérképezés *geoinformatikai* környezetben integrálja a talajtani és a környezeti adatokat, melyek közt kitüntetett szerep jut a *távérzékelésből* származó (multispektrális és multitemporális) képi információknak. Ugyancsak ebben a környezetben történik a térbeli modellezés, azaz a SCORPAN modell funkcionális realizációja *geostatistikai*, illetve *adatbányászati* módszerek felhasználásával. A geoinformatikára, a távérzékelésre, a geostatistikára és az adatbányászatra a digitális talajtérképezés négy pilléreként tekinthetünk. A fejezet további részében ezen pillérek és a korszerű talajtérképezés kapcsolatait tekintem át röviden.

### 1.5.1 Geoinformatika és talajtérképezés

A földrajzi környezet számítógépes, térbeli modellezésének és elemzésének céljából fejlődtek ki a Földrajzi Információs Rendszerek, melyeknek kitüntetett szerepe van az információs rendszerek között, amit a helytel, térbeliséggel kapcsolatos információk speciális kezelése indokolja (Maguire 1991; Longley & Batty. 2003; Longley et al. 2010). A geoinformatikában összefonódik a több ezer évre visszatekintő térképészet, a pár száz éves földtudományok és a néhány évtizedes múlttal rendelkező számítástechnika (Szabó et al. 2007a). A geoinformatikának nagy jelentősége van a földrajzi, földtudományi modellezésben, a természeti erőforrások

kutatásában, a környezeti és ökológiai összefüggések feltárásában annak köszönhetően, hogy a közös földrajzi, térbeli referenciával rendelkező, térképi alapú információk elemezhetőkké válnak (1.8 ábra), aritmetikai, algebrai, logikai, statisztikai relációkkal, illetve geometriai és topológiai műveletekkel egyaránt. A geoinformatika a környezeti elemek és problémák térbeli modellezésének több mint eszköze, a nyelve (Dangermond 2011).



1.8. ábra A geoinformatikai modellezés alapja a közös földrajzi, térbeli referenciával rendelkező, térképi alapú információk egységes rendszerben történő kezelése (forrás: <http://heleneloyan.cikeys.com/update/gis-layers>)

A Földrajzi Információs Rendszerek egyre szélesebb körű elterjedése magával hozta ezek elméletének kialakulását (Mark 2003). A GIS betűszó eredetileg a Geographic Information System rövidítése. A későbbiekben ez áttevődött a Geographic Information Science-re, illetve a Geographic Information Service-re is (Goodchild 2010). Rendszer-Tudomány-Szolgáltatás: mindezt magában foglalja a jól sikerült magyar geoinformatika és térinformatikai terminus<sup>3</sup> (Detrekői és Szabó, 1995; Kertész, 1997; Kollányi és Prajczner, 1995). A geoinformatika egyrészt a technikát képviseli, amely az adatok megfelelően szervezett térbeli információs rendszerekben, térbelileg kezelhető tárolását biztosítja, másrészt az ezekben tárolt adatok széleskörű analizését és feladat/felhasználó specifikus szolgáltatását. Az elmúlt évtizedek változásai az információ térbeli kezelését rendkívüli módon felértékeltek és ez a térinformatikai eszközök robbanásszerű elterjedésével járt az elméleti és gyakorlati kutatásban egyaránt (Brodnig & Mayer-Schönberger 2000; Masser 2005; Steiniger & Hunter 2012). Jelen alfejezetben a geoinformatika szerteágazó gondolkörének csupán azon néhány elemére térek ki igen röviden, melyek a dolgozat további részében bemutatott munkák szempontjából jelentőséggel bír.

A geoinformatikai modellezés alapja a térbeli információ adekvát reprezentációja. A két leggyakoribb a raszteres és a vektoros adatmodell. A hagyományos tematikus (pl: talaj-) föltérképek digitális kódolására a legtöbb esetben vektormodellt alkalmaznak, míg a digitális képalkotó eszközök által szolgáltatott adatok, illetve a pontszerű adatok térbeli kiterjesztésével születő „prediktív” térképek eredendően raszteres formátumúak. A két modell azonban megfelelő konverziókkal átjárható: a képi információk vektorizálásával, illetve a vektoros adatok raszterizálásával. Mindkét adatmodell esetén központi szerepe van a térbeli információ felbontásának, információtartalmának (Li & Huang 2002; Fairbairn 2006; Hengl 2006; Hengl et al. 2013). A digitális térbeli talajtani információk vektoros és raszteres reprezentációja kezdetekben (jellemzően a '80-as, '90-es évek elején) elég erősen elkülönült (Minasny & McBratney 2016). Míg a modern talajtérképezők egy része az archív (eredetileg kartografált) talajtérképek digitális archiválását vektorizálással elvégezve „szép”, de ismeretlen pontosságú digitális (értésd digitalizált, és esetleg digitálisan újraserkesztett) térképeket állított elő, addig a pedometria érdeklődésű kutatók a megfigyelési adatok főképp geostatisztikai alapú, térbeli kiterjesztésével „csúnyácska”, de térbeli becsléseikben egyre megbízhatóbb eredményeket értek el (Webster 2015). A digitális talajtérképezés elterjedésével ezen különbségek folyamatosan elmosódtak, illetve a két irányzat szintézise lényegében a DTT egyik hajtómotorjaként működött.

<sup>3</sup> Nem szeretnék kitérni a geo- és térinformatika kifejezések közti árnyalatok taglalására. Értelmezésemben az angol „geospatial” kifejezés magyar megfelelőjeként használok mindkettőt, élve azzal a szabadsággal, mely szerint a geo/térinformatika a különböző szakemberek és felhasználók számára eltérő jelentéstartalommal bír a földrajzi valóság dokumentálásától kezdve, a vizualizációtól a térbeli elemzésig (Dangermond 2003). A „geo” előtagot inkább akkor, amikor a földtudományi, földrajzi jelleg (mint amilyen maga a talajtérképezés) van a hangsúly; a „tér” előtagot pedig, amikor inkább a technológiai környezeten.

A környezeti változók térbeli modellezésének központi eleme az adatnyerés, megkülönböztetve az elsődleges és másodlagos adatgyűjtést. Az elsődleges adatnyerés direkt adat-előállítását jelent, míg a másodlagos adatnyerés forrása valamely egyszer már felmért vagy összegyűjtött adat (legtöbbször térkép). A geoinformatikai adathierarchia alapját a terepi felvételezés révén előálló adatok képviselik. Ezek születhetnek a terepen (helyszíni leírás, terepi mérés), vagy a terepi mintavételezés során begyűjtött fizikai minták későbbi (laboratóriumi) feldolgozása során. Térinformatikai szempontból a legfontosabb, hogy térbeli referenciával rendelkeznek. Hagyományosan papír térképeken történő bejelöléssel (adott topográfiai elemektől való becsült vagy mért távolság révén), vagy geodéziai méréssel lokalizálták a mintavételi helyeket. A GPS által elérhetővé váló valós idejű helymeghatározás ezen a területen is nagy változást hozott (Ádám et al. 2004). A mérések gyors térbeli lokalizációjának lehetősége olyan mérőműszerek kifejlesztését indukálta, amelyek szinte képalkotó módon képesek a földfelszín, annak objektumainak, illetve a felszínközeli rétegek fizikai állapotáról -lokalizáltságuk révén térképi alapú- információt szolgáltatni (pl: terepi multi-, vagy hiperspektrális spektro-radiométerek, nem-invazív elektromágneses eszközök, terméshozammérő etc.). Ez a technológia teremtette meg az ún. proximal soil sensing (kb. felszínközeli távérzékelés) alapjait (Viscarra Rossel et al. 2010), de jelentősen hozzájárult a precíziós gazdálkodás elterjedéséhez is (Tamás 2001; Németh et al. 2007; Pierpaoli et al. 2013).

A távérzékelés, a térinformatikához némileg hasonlóan, egy több jelentésű terminus, amely alatt egyrészt azokat a vizsgálati módszereket értjük, melynek során a környezetünkről (leggyakrabban a földfelszínről) úgy gyűjtünk adatokat, hogy az adatgyűjtő berendezés (szenzor) nincs közvetlen fizikai kapcsolatban a vizsgált tárggyal vagy jelenséggel. A távérzékelés fogalmába azonban a kapott adatok feldolgozása, annak technikai, szakmai háttere is beletartozik: képfeldolgozás, osztályozási módszerek etc. (Lillesand et Kiefer 1987). A távérzékelés kifejezés a földfelszín megfigyelő (pásztor vagy fényképező) műholdakra szerelt berendezések munkába állítása kapcsán terjedt el, és térinformatikai kontextusban is ennek kapcsán, mint a földrajzi információk gyűjtésének és kiértékelésének leghatékonyabb eszközére tekintenek.

Bármely mérésen alapuló információszerzés központi kérdése az adatnyerés során alkalmazott mintavétel és annak tervezése, térbelileg meghatározott objektumok esetén a térbeli mintavételezés. A klasszikus statisztikai alapú mintavétel-tervezés (pl. a minőségellenőrzésben) lényegében a minta elemszámának (optimális) megválasztását jelenti. A térbeli esetben a mintanagyság mellett a mintavételi pontok elhelyezésére is külön figyelmet kell fordítani a vizsgált objektumok térbeli autokorreláltsága miatt (Griffith 2005; Chen & Wei 2009), illetve a térbeli reprezentativitás biztosítása érdekében. A térbeli mintavételezés lényege azon helyek kijelölése a megfigyelési területen belül, ahonnan származó mérési adatokból az egész terület jellemzőit (minél megbízhatóbban) lehet származtatni (Wang et al. 2012). Az optimális mintavételezés maximális becslési pontosságot biztosít minimális mintaszám alapján (Di et al. 1989; Tóth et al. 1998). A mintavétel-tervezésnél fontos a térképezendő terület minél több szempontú megismerése (topográfia, geomorfológia, földtan, vízrajz, éghajlat, növényzet stb.), mely segíti a releváns talajképző tényezők és környezeti segédváltozók meghatározását (Hengl et al. 2003; Szalai 2012). Nagyfelbontású pánkromatikus felvétel vagy ortofotó integráltnak jeleníti meg a területet, ami lehetőséget nyújt homogén(nek tekinthető) mintavételi egységek elkülönítésére, lehatárolására és azokon belüli mintavételi pontok kijelölésére (Tóth & Kertész 1993). Egy speciális szegmentálási algoritmus a mintavételi egységek kijelölésére a távérzékelte kép heterogenitásának információelméleti értékelése alapján elvégzett négyfa felbontása (Kertész & Tóth 1994; Csillag et al. 1996; Csillag & Kabos 1996). A digitális talajtérképezés környezeti segédváltozókat használ a talajtulajdonságok térbeli kiterjesztésére, az eljárások pedig explicit vagy implicit módon feltételezik a térképezés alapját jelentő mintavételi pontok adott területre vonatkoztatott reprezentativitását (Szatmári et al. 2018). Új mintavételezés tervezése esetén a kijelölendő mintavételi helyeknek mind a földrajzi térben, mind pedig a segédváltozók fázisterében reprezentatívan kell elhelyezkedniük (Mulder et al. 2013), mely feltételek figyelembevételére hatékony módszer a Spatial Simulated Annealing (SSA; van Groenigen & Stein 1998; lásd 5.3 fejezet). A mintavételezés kivitelezésének környezeti segédváltozókat megjelenítő, alaptérképi háttérét ugyanazon adatrendszernek kell szolgáltatnia, amely alapján maga a térbeli kiterjesztés is történik.

A térképi alapú (térbeli, térinformatikai) információk, adatok egyik legfontosabb karakterisztikája azok reprezentációja, azaz azon objektum geometriai meghatározása és modellezése, amelyre az adott információ érvényesnek tekinthető. A klasszikus mintavétel általában annak helyére, egy pontra vonatkozik, bár ezen geometriailag pontként kezelt entitásnak nem elhanyagolható jellemzője a támasza, azaz azon felületnek, térfogatnak a mértéke, amire vonatkozik (Starks 1986; Stein & Ettema 2002). Átlagminta esetén egy területegység maga a támasz, amelynek jellemzésére egy jól definiált és megtervezett pontsorozatból vett egyedi minták összekeverésével meghatározott értékeket tekintjük a területegységre érvényesnek (Patil 2002).

A térképektől elvárt alapvető gyakorlati haszon a térbeli predikció (Leenhardt et al. 1994), melynek lényege, hogy az ismert helyeken vett (lokalizált, georeferált) mintákra (szelvény, fúrás, helyszíni mérés etc.) a helyszínen vagy laboratóriumban meghatározott értékek, vagy egy adott osztályozás alapján egy nagyobb területre vonatkozóan

becsülés adható az azonos vagy egyéb tulajdonságokra. A pontminták vizsgálati eredményeinek meghatározása utáni feladat a mintavétel eredményének térbeli kiterjesztése, megfelelő technikák segítségével (Cressie, 1993.). Különböző módszerek ismeretese a pontra vonatkozó információk térbeli származtatására (Mitas & Mitsova 2005; Telbisz et al. 2013). Li és Heap (2008) 42 térbeli interpolációs módszert ismertet, melyeket három csoportba sorolnak: (i) determinisztikus, illetve (ii) sztochasztikus interpolációs technikák, valamint ezeket ötvöző (iii) hibrid módszerek. Hengl (2009) szintén háromfelé csoportosítja a térbeli predikciós modelleket: (i) mechanikus (determinisztikus), illetve (ii) lineáris statisztikus (valószínűségi) modellek, valamint (iii) szakértői alapú rendszerek.

A determinisztikus interpolációs technikák közé tartoznak azon térinformatikai műveletek, amelyek során az adott geometriai objektumhoz új objektumot generálnak bizonyos szabály szerint és a szülő tulajdonságait egy az egyben származtatják a levezetett geometriai alakzatra (Longley et al., 2010). Ilyen műveletek a pufferralás, illetve a különböző szabályos és szabálytalan tesszelációk (négyfa [quadtree] felbontás, Delauney trianguláció, Thiessen [avagy Voronoi] poligonok) képzése.

A szakértői alapú módszerek közé sorolja Hengl (2009) a reprezentativitáson alapuló, a kézzel rajzolt térképeket eredményező tradicionális (talaj)térképezést. A hagyományos folt térképek a térképezendő területet olyan diszjunkt egységekre bontják, amelyeken belül a változékonyság kisebb, mint a teljes területre vonatkozóan (Odgers et al. 2014). A tematikus foltok használata mögötti modell szerint a térképezett tulajdonság egy folton belül homogén, azaz azonosan jellemzi a terület minden egyes pontját, és csak a határok mentén ugrik; a térképi egységek mintegy rétegzik a varianciát (Beckett és Webster 1971). A tematikus folthatárok születhetnek természetes, fiziográfiai alapon egyéb segéd változók (térképek) elemzése, terepi korrelációs vizsgálatok alapján, illetve lehetnek mesterséges objektumok (térkitöltő szabályos poligon háló, adminisztratív, kataszteri egységek stb.). Ugyancsak a szakértői alapú módszerek közt tárgyalja Hengl (2009) a különböző adat-vezérelt szakértői és gépi tanulási algoritmusokat (lásd 1.5.4 fejezet).

A hagyományosabb értelemben vett térbeli interpoláció során a vizsgálandó paraméter értékének meghatározása egy adott pontban a szomszédos, közeli megfigyelési pontokban mért adatokon alapul. Ennek során a különböző távolságú pontokat nem ugyanakkora súllyal, a hatástávolságon kívüli pontokat pedig egyáltalán nem veszik figyelembe. A determinisztikus módszerek közé sorolhatóak a távolság különböző hatványaival súlyozott átlagon alapuló interpolációs, illetve a polinominális és spline illesztési technikák. A sztochasztikus módszerek közé tartoznak a különböző krigelési eljárások (egyszerű, indikátor, univerzális, lognormális, diszjunktív krigelés, valószínűség krigelés, kokrigelés), amelyekről részletesebben az 1.5.3 fejezetben lesz szó.

Az egyes interpolációs módszerek megfelelő körülményekkel alkalmazandók a pont adatok kiterjesztésénél, hiszen az interpolált mintázat jelentősen függ az interpolációs eljárás megválasztásától, annak paramétereitől, a minták térbeli és értékbeli eloszlásától és reprezentativitásától (Linhart & Zucchini 1986; Li & Heap 2008). Ezen eltérő filozófiájú módszerek nyilvánvalóan eltérő eredményeket szolgáltatnak (Fotheringham & Brunsdon 2004). Ismervén előnyeiket, illetve hátrányaikat, hibáikat, hiányosságaikat, törekedni lehet az optimális megválasztására, amely által szolgáltatott eredménytérkép a leginkább elfogadható választ adja a -jól megfogalmazott-kérdés(ek)re (Robinson & Metternicht 2005; Hengl 2009; Malone et al. 2018). Vannak az egyes térbeli kiterjesztési módszereknek jól ismert tulajdonságai, például (i) a térbeli eloszlást például viszonylag jól visszaadja a Thyssen-poligonok alkalmazása, (ii) a lineáris interpolátorok közül pedig a krigelés szolgáltatja a minimális szórásút. A leginkább megalapozott válasz azonban a térképi eredmények megfelelő értékelésétől, validálásától várható (Hengl 2009).

### **1.5.2 Távérzékelés és talajtérképezés**

A távérzékelés olyan adatgyűjtési eljárás, melynek során közvetlen kapcsolat nélkül, roncsolásmentesen szerezhető információ a megfigyelt objektumról. Olyan speciális mérésről van szó, ami gyakorlatilag nem avatkozik be a vizsgált rendszer állapotába, azt nem változtatja meg. A távérzékelő szenzort általában repülőgépen vagy űreszközön helyezik el, az elektromágneses sugárzás felszíni visszaverődését mérik, leggyakrabban a láthatófény és infravörös hullámhossz tartományban (Stenberg et al. 2010), melyet analóg (jellemzően korábbi módszer) vagy digitális módon, képként rögzítenek. A passzív szenzorok (pl. optikai műholdak, légi fotózó szenzorok) a Nap sugárzásának, míg az aktív szenzorok (pl. radar, LiDAR) a saját maguk által kibocsátott sugárzás visszaverődését detektálják. A reflektancia mértéke és ezeknek több csatornán mért értékeiből felépülő spektrum az adott felszíni objektumra, annak állapotára jellemző, ily módon a visszaverődés alapján közvetett módon információt kapunk a földfelszín, többek között a talajok egyes tulajdonságairól (Viscarra Rossel et al. 2006). A reflektancia görbe alakját, futását az egyes hullámhossz-tartományokban az adott talaj bizonyos tulajdonságai határozzák meg.

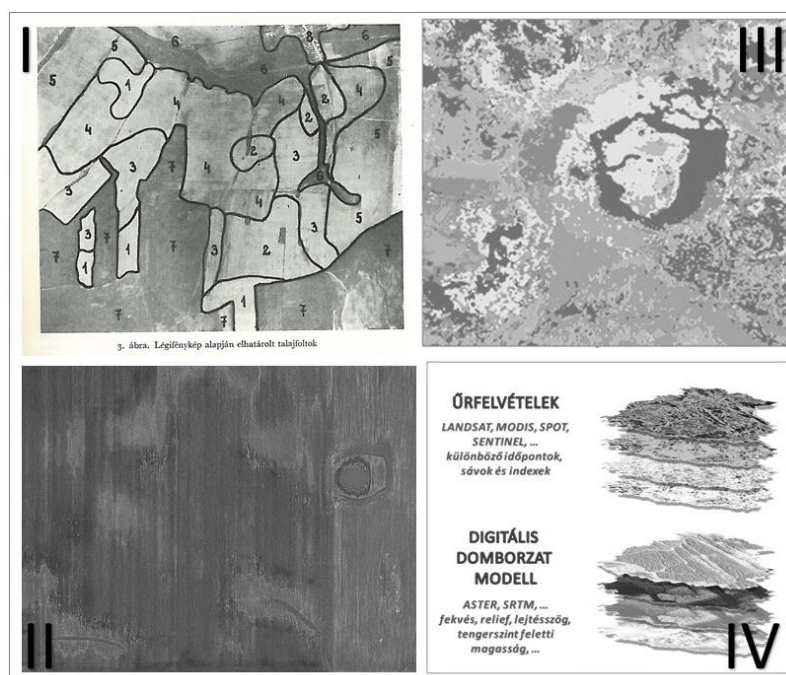
Számos földmegfigyelő műhold működik, melyek megfigyelési sávjai alkalmasak a talajok vizsgálatára. Az általuk szolgáltatott adatok térbeli, spektrális és időbeli felbontásukban különböznek (Mulder et al. 2011, Poggio et al.



2013). A leggyakrabban használt a Landsat műholdcsalád, melynek különböző tagjai már az 1970-es évektől folyamatosan szolgáltatnak nagyfelbontású megfigyelési adatot a látható fény, közeli, közép és termális infravörös tartományból globális szinten. Szintén gyakran alkalmazott adatforrás a Terra és Aqua műholdak ASTER, illetve MODIS szenzora. Ezek előnye a Landsat-tal szemben, hogy napi gyakorisággal készítenek felvételeket globális szinten, több sávban, hátránya viszont, hogy csak kisebb térbeli felbontásban. Hasonló a helyzet az AVHRR szenzorral is, kis felbontása miatt csak kisléptékű térképezéshez alkalmas (Dobos et al. 1998). Egyre elterjedtebb a hiperspektrális szenzorok – mint a CHRIS vagy a Hyperion – alkalmazása is. A hiperspektrális felvételezés előnye, hogy közel folyamatos spektrum állítható elő, ami jól közelíti a laboratóriumi lehetőségeket, mindezt képalkotó üzemmódban és egyre jobb térbeli felbontásban (Chabrilat et al. 2002; Tamás & Lénárt 2006). Jelenleg a legnagyobb perspektíva a Sentinel műholdak révén a Copernicus program keretében keletkező, ingyenesen elérhető távérzékelési információkban rejlik. A 2-es számú műholdsorozat tagjai optikai távérzékelést végeznek tizenhárom sávban a látható fényben és a közeli infravörösben, hullámhossztól függően 10, 20, illetve 60 m-es felbontással.

Távérzékeléssel térben folytonos, kvantitatív információ nyerhető a földfelszín objektumairól, így többek között a fedetlen talajfelszínről, vagy a talajtakarót borító vegetációról, ami számos talajtulajdonság hatékony indikátora (Tamás & Németh 2005; Lausch et al. 2014). A távérzékelési adatok közvetlen vagy közvetett (általában azonban ezek kombinációjaként kialakuló) kapcsolatban állnak az egyes talajtulajdonságokkal, így hatékony adatforrásként használhatók a talajtérképezésben. Már a légi felvételezés megjelenése és a légi fotók talajtérképezésbe való bevonása jobb minőségű, egységesebb és hatékonyabban előállítható térképek elkészültét tette lehetővé (Mulders 1987). Hazánkban a genetikus üzemi talajtérképezés 1966-os módszerkönyve (Szabolcs 1966) a talajfelvételezés teljes jogú elemeként kezelte a felhasználandó légifénykép-anyagot.

Az ugyancsak képalkotó technológiát alkalmazó multi- vagy hiperspektrális távérzékelésből származó felvételek lehetővé teszik a több sávban észlelt információk együttes elemzését, ami jelentősen kifinomultabb kapcsolatok feltárására is lehetőséget nyújt. Mindemellett – hasonlóan a korábban felhasznált légi felvételekhez – keretet és háttérrel nyújtó alaptérképként is használhatók. A legutóbbi időkben kidolgozott nemzetközi, kisléptékű talajtérképezési módszertanok (pl: e-SOTER, Dobos et al. 2012) alapértelmezésben építenek ezekre a forrásokra. A távérzékelési képek egyaránt alkalmasak objektum és pixel alapú osztályozásra, rajtuk (kvázi)homogén talajtani egységek – azaz talajfoltok – határolhatók le manuálisan, vizuális interpretáció útján vagy automatizált módon képszegmentálási eljárással (Machanda et al. 2002; Czimmer 2009). Raszteres jellegükből adódóan ugyanakkor a talajtulajdonságok folytonos térbeli változását hangsúlyozó koncepció számára több szempontból is jól alkalmazható információforrásul szolgálnak (Scull et al. 2003). Az 1.9. ábrával azt a koncepciót szemléltetem, amely mentén jelen alfejezetben a távérzékelés és a talajtérképezés kapcsolatrendszerét foglalom össze.



1.9. ábra A távérzékeléssel gyűjtött információk négy legjellemzőbb alkalmazása a talajtérképezésben a jelen alfejezetben követett gondolatmenet szerint. (I) Távérzékelési információk közvetlen alkalmazása a talajok térbeli változékonyságának objektum alapú jellemzésére: talajfoltok elhatárolása légifelvételen (forrás: Szabolcs 1966); (II) közvetett alkalmazása a talajok térbeli változékonyságának objektum alapú jellemzésére: talaj mintázat megjelenése a növényzetben; (III) közvetlen alkalmazása a talajok folytonos térbeli változékonyságának jellemzésére: fedetlen talajfelszínről készült multispektrális felvétel osztályozásának eredménye; (IV) közvetett alkalmazása a talajok folytonos térbeli változékonyságának jellemzésére: a digitális talajtérképezés legfontosabb környezeti segédváltozói.



A talajtérképezés során ábrázolt talajtulajdonságok térbeli változékonyságának ábrázolásához mindig is szükség volt megfelelő alaptérképre (Miller & Schaetzl 2014). Az alaptérkép egyrészt térbeli keretet ad az ábrázoláshoz. Másrészt egyéb, térképi alapú, a talajképződési folyamatokban releváns tematikus információval szolgál az egyes talajtulajdonságok lehatárolásához. A talajtérképezés mindig is arra támaszkodott, hogy a talajtulajdonságok becslése alapvetően a környezeti tényezők talajra gyakorolt hatása alapján történhet (Scull et al. 2003). A talajtérképezés kezdeti időszakában a szisztematikus ország felmérések topográfiai adatait használták alaptérképként (Miller & Schaetzl 2014). A hagyományos talajtérképezés során a térképező saját talajtani tudása és tapasztalata alapján manuálisan határolta le a rendelkezésre álló topográfiai térképen a tematikus információt (Machanda et al., 2002).

A légi felvételezés megjelenésével a topográfiai térképek helyébe a légi fotók léptek (Miller & Schaetzl 2014). A légi fényképek a korábbiakkal ellentétben a terepről, a földfelszínből immáron kiemelkedve, perspektivikusan mutatják be a térképezendő területet, ezáltal sokkal részletesebb információt mutatnak akár a csupasz talajfelszínről, akár az azt borító növényzetről. A légi fotó képpárok sztereografikus kiértékelése alapján pedig a domborzati sajátosságok is elemezhetővé váltak (Buringh 1954). A légi fotók alapján nagyobb biztonsággal és gyorsabban határolhatók le talajfoltok, ami által jobb minőségű, egységesebb és hatékonyabban előállítható térképek készültek (Miller & Schaetzl 2014). A lehatárolt objektumok nem feltétlenül azonosak a későbbi térképi egységekkel (Buringh, 1954), inkább mintavételi egységeket képviselnek. Természetesen ez esetben is nélkülözhetetlen a lehatároláshoz a talajtérképező tudása és szakmai tapasztalata.

A légi felvételezés felülnézeti képet biztosít a vizsgált területről, melyen a talajfelszín fedett vagy fedetlen állapotban jelentkezik. Amennyiben közvetlenül a csupasz talajfelszín jelenik meg, a színárnyalatok alapján határolhatók le talajfoltok. A légi felvételezés időpontjától függően azonban a növényzet kisebb-nagyobb mértékben takarja a talajfelszínt, így a direkt lehatárolás nem lehetséges. A talajviszonyok ugyanakkor jelentősen befolyásolják a növényzet fejlődését, következésképpen a vegetáció nagyon jó indikátora a talajviszonyoknak (Baumgardner et al., 1986; Juhász 1984; Tóth & Rajkai 1994). A növényzet fejlettségi állapotát figyelembe véve, indirekt módon a növényzettel borított területeken is lehatárolhatók talajfoltok mind természetes vegetáció esetén (pl. Tóth et al. 1991; Tóth & Kertész 1996), mind pedig mezőgazdasági termelés alatt álló területeken (mint például a kezelési egységek meghatározása a precíziós gazdálkodásban).

A földmegfigyelési műholdak megjelenése további lehetőségeket nyitott a talajtérképezés területén. A mesterséges holdak szenzorai segítségével a talajok felszíni tulajdonságai viszonylag nagy kiterjedésű, homogén módszerekkel egy időpontban vizsgálhatók. Ennek köszönhetően egyre több talajvizsgálati célú műholdas távérzékeléses alkalmazás született. Az ilyen irányú fejlesztéseknek nagy lendületet adott az a tény is, hogy egyre több globális szintű földmegfigyelési adat ingyenesen elérhető vált.

A hatékony talajtérképezéshez elengedhetetlen a talajok spektrális tulajdonságainak részletes feltérképezése (Ben Dor et al. 1999; 2002). A talajok reflektancia sajátosságait számos tényező – mint a szín, az ásványi összetétel, fizikai féleség, kémiai tulajdonságok, nedvességtartalom, szervesanyag-tartalom, vastartalom – határozza meg (Ben Dor 2002; Dematte et al., 2004). Ezek a talajtulajdonságok jellegzetes nyomokat hagynak a reflektancia görbe adott hullámhossz-tartományokban, ráadásul egyszerre párhuzamosan több talajtulajdonság is vizsgálható (Viscarra Rossel et al. 2006; Csorba et al. 2014). Vannak ezek között közvetettebben megjelenő, illetve erősen áttételes kapcsolatok. Az előbbieik között említendő többek között a szikes talajok elterjedése (Tóth et al. 1991; Metternicht & Zinck 2003), illetve a talajok egyes degradációs folyamatai (Szabó et al. 1999; van Lynden & Mantel 2001; Burai & Tamás 2005; Dubovik 2017).

A talajok reflektancia tulajdonságai spektroszkópiai eszközökkel vizsgálhatók terepen és laboratóriumban egyaránt. Laboratóriumi körülmények között könnyebben elemezhető a talajtulajdonságok és a reflektancia közötti kapcsolat (Michéli et al. 1988), mivel ez esetben a légkör nem befolyásolja a méréseket, mint a földmegfigyelési adatgyűjtés esetén. Az így nyert eredmények alapösszefüggéseket szolgáltatnak arra vonatkozóan, mely hullámhossz-tartományokban, sávokban érdemes az egyes talajjellemzők térbeli változékonyságát térképezés céljából vizsgálni (Csillag et al. 1993; Pásztor & Csillag 1995; Ben Dor et al 2002; Melendez-Pastor et al. 2008; Vohland et al. 2017).

A talajok távérzékeléses elemzésének szakirodalma igen terjedelmes, számos talajtulajdonságot – mint az ásványi összetétel, fizikai féleség, szervesanyag-tartalom, talajnedvesség, sótartalom, talajtípus, tápanyag-tartalom, pH, vastartalom – vizsgáltak műholdas távérzékeléses módszerekkel, melyekről jó összefoglalást nyújtanak Barnes és Baker (2000), Viscarra Rossel és munkatársai (2006), Ben Dor és munkatársai 2009; Ge és munkatársai (2011), valamint Mulder és munkatársai (2011) szemlelcikkei. Az egyes szenzor-típusok és megfigyelési sávok más-más talajtulajdonság tanulmányozására alkalmasak, ezért mindig az adott vizsgálathoz érdemes célspecifikusan a megfelelő távérzékelési módszert választani (Mulders 1987; Huebner et al. 2011).

A klasszikus távérzékelési eszközök – mint például az optikai műholdak – olyan spektrális tartományban vizsgálódnak, amely csak csekély felszín alatti behatolást tesz lehetővé, ezért a kapott eredmények általában a

talajok 0–5 cm-es mélységű rétegeire vonatkoztathatók (Mulders 1987). Ennél mélyebb talajrétegekről más módszerekkel szerezhető információ. Erre az ún. aktív távérzékeléses eszközök alkalmazhatók, melyek a saját maguk által kibocsátott sugárzás visszaverődését detektálják. Ez a sugárzás hullámhosszától függően a talajok mélyebb rétegeibe is behatol, így azokról is információ nyerhető. A közeggel való kölcsönhatás és így annak szerkezetének leképezése az alkalmazott hullámhosszaktól is jelentősen függ. Az ún. „proximal soil sensing” technológia (Viscarra Rossel et al., 2010) ezen roncsolásmentes, de aktív képalkotó eszközök egyre ígéretesebb és hatékonyabb terepi alkalmazásából fejlődött ki. Ennek során a szenzorok közvetlenül a vizsgálandó területet pásztázzák, melynek köszönhetően használatuk során számos zavaró környezeti (atmoszférikus) hatás kizárható. A módszer hátránya azonban pont a vizsgálat közvetlensége, mivel emiatt csak lokális, parcellaszintű térképezésre alkalmasak. Ennek ellenére a proximal soil sensing az utóbbi időben a digitális talajtérképezés meghatározó területévé vált (Minasny et al. 2009; Grandjean et al. 2010). A talajtérképezésben is használt proximal sensing eszközökről összefoglalót Adamchuk és Viscarra Rossel (2010) közölt.

A talajok közvetlen távérzékeléses vizsgálata csak csupasz talajfelszín esetén működő megoldás, mivel a növényzettel borított vagy beépített területek részleges vagy teljes takarásukkal befolyásolják a talajról nyerhető információkat. Ezen területek vizsgálatból történő kizárása (kimaszkolása) egy lehetséges megoldás, ami által viszont megszűnik a talajinformációk térben folytonos jellege. Sokkal ígéretesebb a pixelen belüli kevert információk szétválasztása megfelelő matematikai módszerekkel. Ez az eljárás az ún. „spectral unmixing”, mely során meghatározható, hogy az adott felszín-típus a pixel hányad részén jelenik meg. A „spectral unmixing” eljárásokról összefoglalót Keshava (2003), illetve Shi és Wang (2014) közöltek.

A talajtérképezés szempontjából azonban a jelenleg leghatékonyabb és leginkább ígéretes megoldás a távérzékelte adatok másodlagos adatforrásként, környezeti segédváltozóként történő bevonása a talajtulajdonságok térbeli kiterjesztésébe (Mulder et al. 2011). A több időpontban és több sávban felvételezett műholdképek alapján készült térképek jól reprezentálják a talajok természetes térbeli változatosságát (Dobos et al. 2002; Casa et al. 2012; Mulder et al. 2013) és több szempontból képezik le a talaj környezetre (főként a vegetációra) gyakorolt hatását.

A talajtulajdonságok indikatív kapcsolatban vannak a növényzettel, ami kevésbé függ a távérzékelte adatok felbontásától. A nagy- és közepes felbontású adatok alapján létrehozott modellek becslési pontossága csak csekély mértékben különbözik (Kim et al., 2012). A növényzeti hatást modellező változók általában műholdfelvételekből vezethetők le. Az egyik lehetőség felszínborítási térképek előállítás – mint a CORINE Land Cover adatbázis (EEA, 2007; Büttner et al. 2012) –, melyek leggyakrabban műholdképek kiértékelésével, osztályozásával keletkeznek. Ezek jellemzően nem az aktuális állapotról, hanem az időben statikus jellemzőkről nyújtanak információt, ezzel a hosszabb távon domináns földhasználat talajokra vonatkozó hatását jelenítik meg. Másik lehetőség a talaj–növényzet kapcsolatának leírására: kifejleszteni különböző egyszerű és összetett indexeket, melyek a műholdas szenzorok érzékelési sávjainak valamilyen matematikai kombinációi alapján állíthatók elő. A legismertebb ilyen mutató a „normalizált vegetációs index”, vagyis az NDVI (Normalized Differential Vegetation Index), mely a vörös (red, vagyis R) és közeli infravörös (near-infrared, vagyis NIR) tartományban észlelt reflektancia alapján számítható. Az NDVI a vizsgált területet borító növényzet fajlagos klorofill tartalmát jellemzi, vagyis a növényzet sűrűségét lehet általa becsülni (Rouse et al. 1973). Az általános alapelv szerint a talajtulajdonságok hatással vannak a növényzet alaktanáira, fejlődésére, melynek eredménye távérzékeléses módszerekkel könnyen nyomon követhető. Az első, talajviszonyokat is figyelembe vevő ilyen index a „talajjal korrigált vegetációs index”, a SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) volt. Huete (1988) bevezetett az NDVI képletébe egy talaj korrekciós tényezőt, melyet empirikus módon lehet meghatározni a felszínt borító talaj–növényzet arány függvényében. A SAVI-nak később számos továbbfejlesztett verziója is született, melyben a talajhatást próbálták meg többféle módon, modellezéssel vagy determinisztikus úton meghatározni.

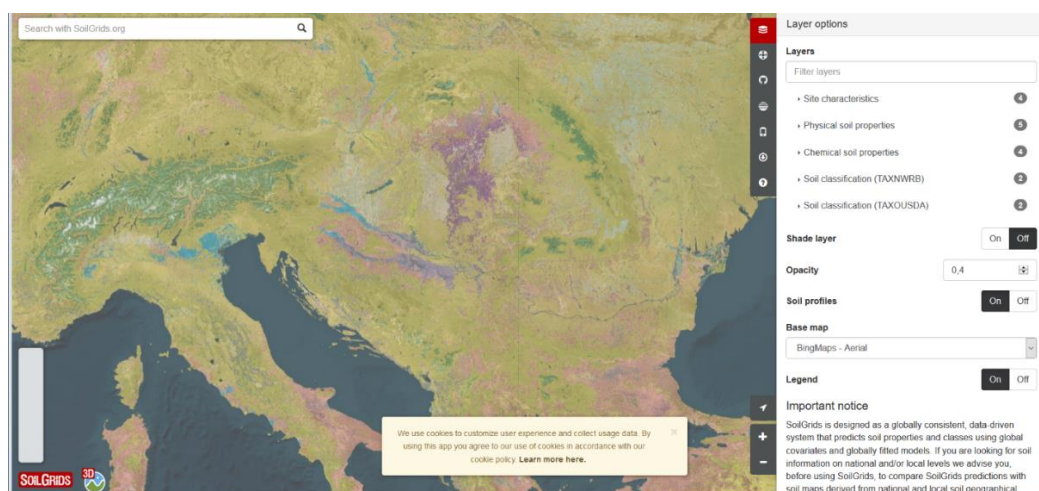
A vegetációs indexeket alapvetően multispektrális szenzorokhoz fejlesztették ki, a legtöbb esetben a Landsat műholdak spektrális sávjain alapulnak. A hiperspektrális adatok esetében azonban sokkal több, de keskenyebb sávban rendelkezünk információval, így még nagyobb kihívás a célváltozó modellezéséhez legalkalmasabb sávokat kiválasztani. A hiperspektrális adatokból számított vegetációs indexeknél a vörös sávot a 670 nm-es, a közeli infravörös sávot pedig a 800 nm-es sávban mért reflektanciával jellemzik (Haboudane et al. 2004). Más esetekben a célváltozóval legszorosabb kapcsolatban lévő sávok kiválasztása hiperspektrális felvételek esetén statisztikai módszerekkel történik (Omam & Torkamini-Azar 2010; Kovács & Szabó 2013; Li et al. 2014).

Nem csak az indikatív távérzékelte képek képviselik a távérzékelés közvetett módon hasznosítható termékeit a digitális talajtérképezésben. Manapság a domborzati adatok gyűjtése is távérzékeléses módszerekkel történik, jellemzően radaros felmérések (pl. SAR, LiDAR) alapján (Li et al., 2005). A legnagyobb felbontású – akár 1 m alatti horizontális és 10 cm-es vertikális pontosságú – domborzatmodellek légi lézerszkenneléssel (LiDAR) állíthatók elő. Ezeket a legutóbbi időig általában kisebb területű, lokális felmérések során alkalmazták (Behrens et al. 2010), de mostanra több szomszédos ország is rendelkezik országos LiDAR felvételezéssel. Regionális vagy országos térképezéshez pedig rendelkezésre áll több, nagyfelbontású, ingyenesen elérhető adatrendszer. A domborzati

tényezők és talajtulajdonságok kapcsolatáról többek közt Dobos és munkatársai (2002) és Florinsky és munkatársai (2002) közöltek részletes összefoglalást. A domborzatmodellből levezethető paraméterek nemcsak a felszín alakjáról, hanem a hidrológiai, illetve klimatológiai adottságokról is hordoznak információt. Térinformatikai alkalmazásokban, térbeli modellezésben leggyakrabban használt pusztán domborzatot jellemző paraméterek a magasság és első deriváltjai: a lejtőszög és a kitettség (Schillaci et al. 2015). A további morfológiai tényezők közül a vízrajzi viszonyokat leíró paraméterekre jó példa a „vízgyűjtő terület index” (catchment area index) vagy a „felszíntagoltsági mutató” (potential drainage density). Klimatikus tulajdonság becslésében alkalmazható tényező lehet a „topográfiai nedvesség index” (topographic wetness index). A térképezéshez használandó domborzati paraméterek kiválasztásánál fontos szempont, hogy a térképezendő terület hegyvidéki vagy síkvidéki jellegű, ugyanis különböző paraméterekkel le lehet írni a területet jellemző talajképző tényezők sajátosságait. Az alföldeket a magasság, a „relief intenzitás” (relief intensity), a lejtőszög, a „felszíntagoltsági mutató” és a görbületi paraméterek modellezik megfelelően, míg a hegy- és dombvidéki területek esetében a magasság, a kitettség és a különböző paraméterezésű topográfiai indexek jellemzik jól a terület talajképződést befolyásoló domborzati adottságait. Az említett domborzati paraméterek a legtöbb raszteres térinformatikai szoftverben származtathatók a digitális domborzat modellekből. Ezek közül a SAGA szoftver (Böhner et al. 2006; Conrad et al. 2015) kiemelendő, ugyanis nemcsak az alapparamétereket foglalja magába, hanem a talajképző folyamatok még hatékonyabb térképezésére saját fejlesztésű módosított és összetett domborzati paramétereket is (Bock et al. 2007).

Összességében számos környezeti segédváltozót szolgáltat a távérzékelés a digitális talajtérképezéshez, azonban nem mindegyik változó alkalmas tetszőleges talajtulajdonság becslésére. Hatékony térbeli becslést nyújtó térképek származtatásához a felhasznált segédváltozóknak legalább közvetett kapcsolatban kell állniuk a térképezendő tulajdonsággal (Dobos & Hengl 2009). Az eddigi tapasztalatok továbbá azt mutatják, hogy önmagukban a műholdfelvételek, vagy a domborzati paraméterek segítségével nem lehet hatékonyan modellezni a talajok térbeli változékonyságát, azok együttes alkalmazása nyújtja a pontosabb eredményeket (Boettinger 2010; Mulder et al. 2011; Dwivedi 2017).

A térinformatikai és földmegfigyelési technológiák a talajtérképezés megjelenítési módszereibe is jelentős változást hoztak. A korábban használt papír alapú topográfiai és tematikus térképeket, illetve az analóg légi fotókat felváltották a különböző távérzékeléses adatforrásból származó digitális alaptérképek. A modern távérzékeléses technológiák, legyen szó légi- vagy űrtávérzékelésről, jobb minőségű, egységes, és egyre gyakrabban ingyenes információt szolgáltatnak. A térinformatikai környezet pedig új lehetőségeket teremt az alaptérképi információk használatában és interpretációjában. A legtöbb térinformatikai szoftver már többféle beépített tematikus alaptérképpel rendelkezik. A webes környezetben elérhető tematikus digitális talajtérképek és térbeli talajinformációs szolgáltatások (pl.: ESDAC: European Soil Data Center Map Viewer [<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/wrb/>]; SoilGrids: Global Gridded Soil Information [[https://soilgrids.org/#/?layer=TAXNWRB\\_250m&vector=1](https://soilgrids.org/#/?layer=TAXNWRB_250m&vector=1)]; jellemzően az 1.10 ábrán láthatóhoz hasonló módon, távérzékeléses adatgyűjtésből származó alaptérképi háttérrel (mint például a Google Maps/Earth, NASA Blue Marble Maps, ESRI, BingMap stb.) jelennek meg.



1.10. ábra Webes környezetben szolgáltatott digitális talajtérkép, melynek alaptérképi háttérrel űrfotó térkép szolgáltatja ([https://soilgrids.org/#/?layer=TAXNWRB\\_250m&vector=1](https://soilgrids.org/#/?layer=TAXNWRB_250m&vector=1)).

### 1.5.3 Geostatistika és talajtérképezés

Először bányászati szakemberek ismerték fel, hogy az alkalmazott klasszikus statisztikai módszerek nem képesek tekintetbe venni a vizsgált jelenség térbeli aspektusát (Matheron 1963, 1971). A klasszikus statisztika a vizsgált

jelenséget valószínűségi változónak tekint, melynek két alapvető tulajdonsága: (i) egy kísérlet (mérés) elméletileg végtelen, gyakorlatban tetszőlegesen sokszor megismételhető és (ii) a megfigyelések függetlenek egymástól. Ezen sajátságok azonban nem összeegyeztethetők a földtudományi tapasztalatokkal, hiszen egyrészt a gyakorlatban nincs lehetőség az adott kísérlet újbóli elvégzésére, másrészt a kísérletek kimeneteli nem függetlenek egymástól, köztük – térbeli és/vagy időbeli – kapcsolat áll fent (Matheron 1963). A legfőbb probléma, hogy a hagyományos statisztikai módszerek érzéketlenek a megfigyelési helyekre, holott ez utóbbi magával az adattal azonos értékű információ. Ezért egy olyan megközelítésre volt szükség, mellyel explicit módon hangsúlyozni lehet a vizsgált jelenség térbeli aspektusát, mely annak elidegeníthetetlen és kiemelten fontos sajátsága. A regionalizált változók elméletének kidolgozása Matheron, francia matematikus és geológus nevéhez fűződik.

A regionalizált változókat hagyományosan valószínűségi függvényekkel közelítjük (Journel 1986); ahol a valószínűségi függvény olyan valószínűségi változók halmaza, melyek egymástól függését bizonyos valószínűségi mechanizmus szabályozza (Geiger 2006a). A vizsgált jelenséget kifejező regionalizált változót az ezen a jelenségen létrehozott valószínűségi függvény egyedi realizációjának tekintjük (Matheron 1971; Geiger 2006a; Webster & Oliver 2001). A regionalizált változó fogalmához szorosan kapcsolódnak az erraticus, illetve struktúrált jellemzők, azaz az adatponti értékek helyileg valószínűségi változók, illetve minden adatponti pár a jelenség térbeli struktúráját kifejező korrelációval van összekötve. Utóbbi figyelembevétele a geostatistikában kiemelt fontosságú, hisz a jelenség általános térbeli eloszlásával kapcsolatos tulajdonság, melynek egyik – de nem kizárólagos – mértéke a variogram (Matheron 1963).

A geostatistika és a statisztika közötti legfőbb különbség a vizsgált jelenséghez kapcsolódó megfigyelési helyek információinak rögzítésében és kiterjesztésében van. Míg a statisztika a tanulmányozott jelenséget valószínűségi változónak tekint és a mintavétel független, addig a geostatistika regionalizált változónak tekint és a minta adatai nem függetlenek egymástól (Matheron 1963; Geiger 2006a).

A geostatistikai szemlélet és gyakorlat elterjedését megelőzően a talajok térképezését egy adott osztályozási szempontból homogénnek tekinthető területek térképi lehatárolása jelentette (Heuvelink & Webster 2001; Webster 2000, 2015). Ezen paradigma szerint a talajosztályokat ábrázoló foltterképek csaknem teljes körű információval képesek szolgálni a talajokra vonatkozóan; vagyis ha ismert, hogy egy adott pont vagy terület mely osztályhoz tartozik, akkor az ottani talajjellemzők egyértelműen származtathatók, becsülhetők (Heuvelink & Webster 2001; Webster 2015). Ez az Arisztotelészi logika hosszú évtizedekig meghatározta a talajtulajdonságok térbeli változékonyságával kapcsolatos gondolkodást (Webster 2015). Tradicionálisan a talajtérképezés legfőbb célja és kihívása az osztályozási metódusok tökéletesítése és az addigi ismeretek stabil keretrendszerbe való integrálása volt (Webster 2000).

A talajtulajdonságok adott pontra vagy területre vonatkozó becslése kapcsán a statisztikában rejlő potenciált elsőként az építő- és hadmérnökök ismerték fel. A statisztikai mintát rétegzett mintavételezésből nyerték, melynek alapját a talajfolt térképek jelentették. A diszkrét modellt követő becslések igencsak vegyes eredményekkel szolgáltak (Webster & Beckett 1970). Az osztályon belüli variancia nagyobb volt, mint az osztályok közötti több talajtulajdonság esetén is, továbbá a visszamaradó reziduumok változékonysága struktúrált volt, nem pedig ún. fehérzaj.

Ezen felismerések némi analógiát mutattak a bányászati szakemberek fent említett tapasztalataival. Richard Webster 1950-es évek végén Afrikában töltött talajtérképezési munkálatai során meglepő jelenséggel találkozott: az ott található talajok fokozatos átmenetei miatt nem lehetett az osztályokat precízen definiálni, továbbá az adott munkaléptékekben egyértelműen foltszerűen lehatárolni (Webster, 2015). A későbbiekben Webster és Cuanalo (1975) szakítva az addigi paradigmával, egészen új szemszögből kezdték vizsgálni a talajokat: úgy tekintették egy keresztszelvény mentén mért talajtulajdonságok változékonyságát, mintha az egy sztochasztikus folyamat eredménye lenne. A származtatott korrelogramok alapján megfigyelhető volt, hogy bizonyos talajtulajdonságok hosszabb, míg mások rövidebb távolságban mutatnak korrelációt. Ugyanakkor még nem volt világos, hogy ezen értékes információt, miként is lehetne használni a talajtérképezésben (Webster, 2015). Néhány év elteltével Daniel Sampey geológus látogatta meg az éppen Ausztráliában tartózkodó Richard Webster-t és említette meg neki Daniel Krige és Georges Matheron munkásságát, vagyis a krigelést, illetve a regionalizált változók elméletét. Az általa elmondottak alapjaiban oldották meg a talajtulajdonságok térbeli becslését illető nehézségeket (Webster, 2015). Ezt követően 1980-ban három tudományos dolgozat (Burgess & Webster, 1980a,b; Webster & Burgess, 1980) látott napvilágot, melyek explicit módon tekintették a talajtulajdonságok térbeli változékonyságát regionalizált változónak és használtak blokk, illetve univerzális krigelést a térbeli becslésekhez. A geostatistika az 1980-as évet követően széles körben elterjedt a talajtérképezésben.

A geostatistika kiindulási alapja azon explicit feltételezés, hogy a vizsgált jelenség térbeli sztochasztikus folyamatként közelíthető (Webster 2000). A talajtulajdonságok és a talajban megfigyelhető jelenségek bonyolult, komplex, egymásra kölcsönösen pozitív vagy negatív irányú hatást gyakorló fizikai, kémiai, illetve biológiai folyamatok eredői, melyből következik, hogy ezen tulajdonságoknak, jelenségeknek fizikai értelemben véve

definiálásuknak kell lenniük. Jenny (1941) munkája azon a tézisen alapszik miszerint, ha ismerjük, hogy a talaj miként képződött és formálódott a talajképző kőzetben az idők során, akkor elméletileg ismernünk kell jellemzőit és ezek múlt-, jelen- és jövőbeli viselkedését is. Ugyanakkor ezen fizikai, kémiai, illetve biológiai folyamatok közötti interakciók oly komplexek és változékonyak a talajképződés előrehaladtával, hogy a talajokkal kapcsolatos ismereteink közel sem mondhatók teljesnek. Továbbá a talajon végzett méréseinken keresztül is csak adott pont(ok)ban és adott időpillanat(ok)ban vagyunk képesek megragadni a talajban lejátszódó folyamatokat, ezért azok térbeli variabilitásáról és az ezeket irányító folyamatok időbeli változékonyságáról is töredékesek az ismereteink. Ismereteink hiánya, illetve a megismerhetőségének korlátai miatt a talajok sok esetben úgy jelennek meg számunkra, mintha egy véletlenszerű folyamat eredményei lennének (Webster 2000), amely nagyon jól modellezhető sztochasztikus folyamatként (Webster 2000, 2015), ezért tulajdonságaik regionalizált változókként kezelhetők.

A geostatistika további explicit feltételezése a stacionaritás, mely egyben számos félreértés okozója is (Journel 1986; Myers 1989; Webster 2000). A vizsgált jelenségről egy-egy adatponti érték áll a rendelkezésünkre, azonban a számításokhoz több ismételt mérésre lenne szükségünk, melyekre jellemzően nincs lehetőségünk (Matheron 1963). Mindazonáltal, ha a vizsgált jelenség homogénnek feltételezhető az adott területen, akkor ennek adatpontonkénti értékét úgy tekinthetjük, mint a regionalizált változó önmaga ismétlését a térben. Ez az ismétlődés ugyanazon valószínűségi függvény sok realizációjának azonosságát adja, és statisztikai számításokat tesz lehetővé. A stacionaritás hipotézisét pedig a vizsgált jelenség térbeli homogenitásának különböző fokaihoz kapcsoljuk (Geiger 2006a). A geostatistikában a következő stacionaritási típusok a leginkább használatosak (Myers 1989; Webster 2000; Geiger 2006a; Füst & Geiger 2010):

- Szigorú stacionaritás: Egy valószínűségi függvény szigorúan stacionárius, ha térbeli törvénye, azaz a többváltozós valószínűség eloszlása invariáns a translációra.
- Gyenge stacionaritás: Egy valószínűségi függvény gyengén stacionárius, ha a várható érték létezik és független a hely megválasztásától, továbbá a kovariancia létezik és csakis a pontokat elválasztó szeparációs vektortól függ.
- Belső hipotézis: Egy valószínűségi függvény belső hipotézissel bír, ha a várható érték helytől független, továbbá a félvariogram létezik és csakis a pontokat elválasztó szeparációs vektortól függ. A belső hipotézis tulajdonképpen nem más, mint a gyenge stacionaritás szűkítése a valószínűségi függvény növekményeire.

A feltételezett stacionaritási típus határozza meg, hogy a valószínűségi modellen belül milyen következtetéseket tehetünk. Fontos hangsúlyozni, hogy a stacionaritás a valószínűségi függvény tulajdonsága, s nem az adatok, illetve a valóság jellemzője (Journel 1986; Myers 1989; Goovaerts 1997; Webster 2000). Ezért azon kérdésre, mely szerint „az adott talajban megfigyelhető jelenség stacionárius-e?” nem létezik válasz; sokkal inkább helyénvaló az a kérdés, hogy „az adott jelenségre felépített stacionárius valószínűségi modell reális-e?” (Webster 2000). Utóbbi a modellezés céljainak a tükrében válaszolható meg. Fontos továbbá kiemelni, hogy a stacionaritás típusának kiválasztására nincs teszt, ezen „hipotéziseket” a minta alapján általában nem lehet igazolni; ezért a stacionaritás „hipotézise” szabatosan nem igazi hipotézis, hanem egy döntés a szakértő részéről, hisz az adatok alapján sem elfogadni, sem elvetni nem lehet (Journel 1986; Goovaerts 1997). Ez azt is jelenti, hogy a mintázási stratégia kidolgozása során olyan helyzet kialakítása fontos, mely ezeket a stacionaritási feltételezéseket nyilvánvalóvá teszi (Füst & Geiger 2010).

A vizsgált jelenség térbeli változékonyságának leírására használt leggyakoribb mérték a variogram, mely definíció szerint:

$$2\gamma(\mathbf{h}) = \text{Var}[Z(\mathbf{u}) - Z(\mathbf{u} + \mathbf{h})] = E\{[Z(\mathbf{u}) - Z(\mathbf{u} + \mathbf{h})]^2\} \quad (1.2)$$

vagyis a variogram nem más, mint az egymástól  $\mathbf{h}$  szeparációs vektorral elválasztott adatponti párok értékkülönbség négyzeteinek a várható értéke. A geostatistika általánosan használja a variogramot a kovariancia helyett a vizsgált jelenség térbeli változékonyságának mértékeként, mely főként történelmi okokra vezethető vissza (Gringarten & Deutsch 2001). Ez elhanyagolható gyakorlati következményekkel jár, lévén hogy gyenge stacionaritás feltételezése mellett a kovariancia és a variogram ekvivalens eszközök. Ugyanakkor belső hipotézis feltételezése mellett ez az ekvivalencia nem teljesül, csak a variogram létezik és csak az használható a vizsgált jelenség térbeli változékonyságának jellemzésére. Ugyanígy fontos kihangsúlyozni, hogy a trend jelenléte cáfolja a belső hipotézist is. A trend jelenlétét a számított variogram értékeinek monoton növekvő tendenciája jelezheti. Ilyen esetekben trendmentesítést kell végeznünk, mely során eltávolítjuk az adatok átlagában megjelenő szisztematikus változást és a reziduumokon végezzük el a feltáró variográfiai vizsgálatot (Gringarten & Deutsch 2001; Füst & Geiger 2010).

Habár a variogram szerepe evidensnek mondható a geostatistikai alapú modellezés kapcsán, mégis számítása, interpretációja és modellezése alulreprezentált vagy egyszerűen mellőzött lépések a térbeli modellezések során (Gringarten & Deutsch 2001; Bárdossy 2006; Oliver & Webster 2014). A variogram a geostatistikai modellalkotás

kritikus inputja, hisz (i) rajta keresztül vagyunk képesek megvizsgálni és leírni a vizsgált jelenség térbeli változékonyságát, továbbá (ii) az alkalmazott becslési vagy szimulációs algoritmusok elengedhetetlen kelleke, melyek ezen statisztika alapján fogják reprezentálni a vizsgált jelenség térbeli eloszlását (Gringarten & Deutsch 2001). Szimulációs algoritmusok esetén ez utóbbi nagy jelentőséggel bír, hisz a szimuláció során előállított realizációknak az alkalmazott variogram modellt kell visszaadniuk.

A geostatistika az 1980-as évektől kezdődően fokozatosan erősödve határozta meg a talajjal kapcsolatos térbeli szemléletet és gyakorlatot. A talaj a geostatistika megközelítések ideális médiuma (Webster 1994, 2015). A talajtani szakemberek nem csak átvették a kidolgozott geostatistikai módszereket, hanem lépést is tartottak, sőt aktívan hozzá is járultak a geostatistika eszköztárának fejlesztéséhez, bizonyos részeinek újragondolásához és megújításához. A talajtérképező szakemberek érdeklődése és hozzájárulása főként a nem stacionárius valószínűségi függvények modellezése, illetve a lokális és térbeli bizonytalanság modellezése és értékelése felé irányult (Goovaerts 1999a; Webster 1989, 1994; Webster & Oliver 2001, Hengl 2003; McBratney et al. 2000, 2003; Heuvelink & Webster 2001; Kempen 2011, Lark 2012).

A hazai talajtérképezésben meglehetősen korán, már az 1980-as évek második felében megjelent a geostatistika (Oertli & Rajkai 1988; Rajkai et al. 1988; Csillag & Kertész 1989). Ezeket a későbbiekben is jelentős, geostatistikai megközelítéseken alapuló talajtani, illetve a talajhoz szorosan kapcsolódó munkák követték (Csillag et al. 1992, 1996; Tóth & Kertész, 1996; Tóth & Várallyay 2001; Nagy & Tamás 2005; Szatmári & Barta 2013; Szatmári et al. 2013; Kohán & Szalai 2014; Rakonczai & Fehér 2015).

A hagyományos krigelés (ordinary kriging) volt az első geostatistikai módszer, melyet a talajtérképezésben alkalmaztak (Burgess & Webster 1980a). Mind a mai napig igen gyakran és széles körben használt egyváltozós módszer, amit egyszerűségének, szofisztikált algoritmusának és az elérhető jó minőségű eredményeinek köszönhet (Webster & Oliver 2001; Webster 2015). Mind a hazai, mind a nemzetközi szakirodalom széles körű alkalmazhatóságát bizonyítja (Webster 1989; Webster & Oliver 2001; Farkas et al. 2008; Szalóki & Somodi 2014). A talajtani felmérések gyakori jellemzője, hogy a mintáknak csak egy bizonyos hányadára áll rendelkezésre az adott talajtulajdonságra vonatkozó konkrét mért információ, melynek oka lehet például a laboratóriumi vizsgálat magas költsége. Ugyanakkor ezen talajjellemzőt is gyakran térképezni kívánjuk. Már 1983-ban megfogalmazódtak ezen igények (McBratney & Webster 1983); ezért olyan módszerre volt szükség, mely szimultán képes figyelembe venni a térképezendő talajtulajdonság adatponti értékeit, illetve a rendelkezésre álló egyéb, az előzőnél sűrűbben mintázott talajjellemzőket a térbeli becslés során. A bányászati gyakorlatban az ilyen jellegű problémákra kidolgozott kokrigeléses megközelítést McBratney & Webster (1983) alkalmazta elsőként a talajtérképezésben. A kokrigelés mögött azon megfontolás húzódik, hogy a becslni kívánt regionalizált változó mellett egy (vagy akár több) regionalizált változó áll rendelkezésre, melyek korrelálnak egymással. Ezen kapcsolat felhasználható az adott talajtulajdonság becslésére és pontosabb térkép származtatható. A térképezési igények és az elérhető talajtani adatbázisok révén a kokrigelés igen elterjedt módszerré vált a talajtérképezésben. Nem csupán talajtani, hanem a talajtulajdonságok becslésében alkalmazható egyéb környezeti adatok is betölthetik a segédinformáció szerepét. Az elmúlt két évtizedben a digitális domborzatmodellek előállítása, illetve a távérzékelés rohamos fejlődésnek indult, mely egyértelműen kedvezett a kokrigelés alkalmazásának. Ezen fejlődésnek köszönhetően egyre olcsóbban, egyre nagyobb mennyiségben és nem utolsósorban növekvő geometriai, időbeli, illetve spektrális felbontásban állnak rendelkezésre potenciális segédinformációk, melyeket hatékonyan lehet felhasználni talajtulajdonságok kokrigelésen alapuló térbeli becslésére (Odeh et al. 1994, 1995; Meul & van Meirvenne 2003; Bourennane et al. 2006). Kiemelendő, hogy ezen segédinformációk a vizsgálat alá vont területre egységes térbeli lefedettséggel állnak rendelkezésre, mely számos új perspektívát is eredményezett.

Tipikusan ilyen megközelítés a krigelés külső drifttel (kriging with external drift), mely explicit megkívánja a segédinformációk teljes térbeli lefedettségét, ugyanakkor a segédinformációk mennyiségével kapcsolatban rugalmasabb, mint a kokrigelés. Ez utóbbi abból a tényből fakad, hogy a nagyszámú segédinformáció túlbonyolítja a direkt és kereszt-variogramok modellezését, melyre számos további feltétel is vonatkozik (Goovaerts 1997). Továbbá a krigelés külső drifttel módszer egészen új szemszögből közelítette meg az adott talajtulajdonság térbeli változékonyságát. Mint nevéből is fakad, képes kezelni az adatok átlagában megjelenő szisztematikus változást, vagyis a trendet, mely a rendelkezésre álló segédinformációk révén modellezhető. A térbeli becslés feltétele a lineáris kapcsolat a becslni kívánt tulajdonság és a segédinformációk között, melynek együtthatóit implicit becslő a krigelési rendszeren keresztül (Goovaerts 1997). Habár a gyakorlatban jelentősen több segédinformációt képes szimultán kezelni, mint a kokrigelés, azonban a nagyszámú segédinformáció ellehetlenítheti a mátrix számításokat (Hengl 2009), továbbá a segédinformációk térbeli értékeiben megjelenő ugrásszerű változások a krigelési rendszer instabilitását okozzák (Goovaerts 1997). Ugyanakkor ezen új megközelítést az 1990-es évek közepe óta igen széles körűen alkalmazzák a digitális talajtérképezésben számos előnyének és szofisztikált algoritmusának köszönhetően (Goovaerts 1997, 1999b; Bourennane & King 2003; Baxter & Oliver 2005).

A krigelés külső drifttel megközelítés mellett – szinte vele egy időben – jelent meg a regresszió krigelés (RK) a digitális talajtérképezésben, mely az előzőhöz hasonlóan képes kezelni a trendet, ugyanakkor a trendmentesítést a priori végzi el. A trendmentesítés szintén az adott talajtulajdonság és a rendelkezésre álló segédinformációk közötti kapcsolat számszerűsítésén alapszik, de nem feltétel a lineáris kapcsolat, továbbá a segédinformációk térbeli értékeiben megjelenő ugrásszerű változások is megengedettek (Hengl 2009). Ezek tették lehetővé a regresszió krigelés elfogadását és egyre szélesebb körű alkalmazását a digitális talajtérképezésben. A korábban felhasznált segédinformációk köre – mint a digitális domborzatmodell és derivátumai, illetve a távérzékeléssel nyert felvételek és a belőlük levezetett index képek – tovább bővült kategória típusú segédinformációkkal, mint például: földtani, területhasználati, illetve archív talajtérképek. A kezdetben alkalmazott többszörös lineáris regressziók mellett megjelentek a GLM (generalized linear model) és GAM (generalized additive model) módszerek a trend leválasztásra (Hengl 2009; Poggio et al. 2010, 2013; Kempen 2011). A regresszió krigelés gyakorlatias volta miatt mind a hazai, mind a nemzetközi digitális talajtérképezésben elfogadott és az utóbbi években a leggyakrabban alkalmazott geostatistikai módszerre vált a talajtulajdonságok térbeli becslésére (Hengl et al. 2004, 2007; Simbahan et al. 2006; Minasny & McBratney 2007; Dobos et al. 2007; Szatmári et al. 2013, 2015a,b; Heuvelink 2014; Tóth et al. 2016; Keskin & Grunwald 2018).

A térbeli variabilitás általános leírására egy környezeti változót három komponensre szokták szétbontani (Hengl 2009) az alábbi módon:

$$Z(s) = Z^*(s) + \varepsilon'(s) + \varepsilon'', \quad (1.3)$$

Ahol  $Z^*(s)$  a determinisztikus,  $\varepsilon'(s)$  a térbelileg autokorrelált komponens,  $\varepsilon''$  pedig a zaj. A regresszió külső drifttel, illetve a regresszió krigelés már együtt kezelik a két első komponenszt, amelyből az első meghatározása a trendleválasztás során, a másodiké pedig az azt követő geostatistikai elemzés során történik. A digitális talajtérképezési gyakorlatában a trendleválasztás egyre nagyobb hangsúlyt kap, időnként akár háttérbe szorítva a visszamaradó reziduumok sztochasztikus modellezését is. A térképezendő talajtulajdonságok és a felhasznált segédinformációk közötti kapcsolat erőssége, melyet leggyakrabban az illesztett trend determinációs együtthatójával ( $R^2$ ) jellemeznek, rendkívül széles skálán változik. Alacsony  $R^2$  érték mellett az adott talajtulajdonság térbeli változékonyságának fennmaradó, döntő nagyságú részét mindenképpen geostatistikai megközelítéssel kell modelleznünk, ezért ez utóbbi legalább annyira fontos, mint maga a trendmodellezés. A regresszió külső drifttel, illetve a regresszió krigelés során azonban a becsülni kívánt tulajdonság és a segédinformációk között lineáris kapcsolatra vonatkozó feltétel túl erős korlát, mivel ezek kapcsolatrendszerre jellemzően sokkal összetettebb és csak első közelítésben tekinthető érvényesnek a linearitás (Malone et al. 2018). A komplexebb összefüggések feltárásának lehetősége irányította a digitális talajtérképezés figyelmét az adatbányászat felé (lásd 1.5.4 fejezet).

Az utóbbi években erőteljesen megnövekedett az igény a talajtérképek megbízhatóságát számszerűsítő információk iránt (Heuvelink 2014). Ezzel kapcsolatban két fő, geostatistikai alapon nyugvó megközelítéssel találkozhatunk a digitális talajtérképezésben:

- A krigelési variancia alkalmazása konfidencia intervallum származtatásához (Heuvelink 2014; Kempen et al. 2014), illetve
- Sztochasztikus szimulációk alkalmazása a térbeli bizonytalanság modellezésére (Poggio et al. 2013; Poggio & Gimona 2014; Szatmári et al. 2015b).

A krigelési variancia származtatása a krigelésen alapuló becslés része. Ismeretében igen egyszerűen kiszámítható például a krigeléssel adott becslés körüli 95%-os konfidencia intervallum (Heuvelink 2014). Ugyanakkor csakis szigorú feltételek mellett használható a lokális bizonytalanság jellemzésére, melyek a gyakorlatban többnyire nem teljesülnek (Journel 1986; Journel & Rossi 1989; Goovaerts 1997). Ezért általában a geostatistika nem tekinti a krigelési varianciát a lokális becslési pontosság mértékének (Journel 1986; Journel & Rossi 1989; Geiger 2006a). A sztochasztikus szimulációk célja az adott regionalizált változóra olyan alternatív, de egyenlően valószínű realizációk generálása, melyek visszaadják a modell statisztikákat, mint az adatok hisztogramja, illetve variogramja (Deutsch & Journel 1998; Goovaerts 1997; Geiger 2006b, 2012). A szimulációk során kapott realizációk összessége a térbeli bizonytalanság modellje (Goovaerts, 1997; Geiger, 2006b, 2012). A kapott realizációk alapján minden egyes gridpontra modellezhető annak gyakorisági eloszlása, mely segítségével:

- Képezhető a várható érték és a hozzá tartozó konfidencia intervallum, ahol is ezen intervallum szélessége indikálja a várható érték becslésének bizonytalanságát, továbbá
- Olyan statisztikai események lekérdezésére is lehetőség nyílik, mint például, mi annak a valószínűsége, hogy egy adott értéknél alacsonyabb egy talajtulajdonság értéke a teljes területre vonatkozóan (Geiger 2006b, 2012; Szatmári et al. 2015a). Utóbbi szerepe a környezetvédelmi gyakorlatban (például: szennyezett területek lehatárolásában) igen meghatározó (Goovaerts 1997, 2001).



#### 1.5.4 Adatbányászat, gépi tanulás és talajtérképezés

Az adatbányászat egy folyamat, amely hagyományos adatelemzési módszerek és kifinomult algoritmusok elegyeként olyan technológiákat fog össze, amelyek alkalmasak nagy mennyiségű adatban rejlő hasznos(ítható) információk, illetve rejtett összefüggések felfedezésére (Witten & Frank 2005; Abonyi 2006; Han et al. 2011; Bodon & Buza 2014). A szakirodalom általában négy adatbányászati alapfeladatot határoz meg (Tan et al. 2005): (i) prediktív modellezés, (ii) klaszterezés, (iii) asszociációs elemzés, (iv) rendellenesség keresés. A digitális talajtérképezés szempontjából ezek közül a prediktív modellezés bír alapvető jelentőséggel. Lényege olyan modell építése, ahol a célváltozó a magyarázó változók függvényeként kifejezhető. Diszkrét (kategória típusú) célváltozók esetén osztályozásról, folytonos célváltozók esetén pedig regresszióról beszélünk.

Az adatbányászatot általában (szemi-)automatikus folyamatnak tekintik, amely képes nagyméretű digitális adatrendszerekben tanulási modellek révén mintázatokat azonosítani, amelyek aztán felhasználhatók predikcióra új adatok alkalmazása esetén (Witten & Frank 2005). A modellek tanítása számítógép alapú módszerekkel történik, azaz gépi tanulásról van szó (Witten and Frank, 2005; Hastie et al. 2009). A gépi tanulás során a rendszer a korábbi tapasztalatokat elemezve, azokból tanulva, képes következtetéseket levonni, döntési javaslatokat tenni (Bodon & Buza 2014). A „gépi tanulás” és „adatbányászat” kifejezések nem egymás szinonimái, bár szorosan kapcsolódnak egymáshoz. A különbségüket legegyszerűbben úgy lehet megfogalmazni, hogy az adatbányászat céljának (az összefüggések feltárásának) érdekében gépi tanulási módszereket alkalmaz; az adatbányászat esetén a folyamaton, a gépi tanulásnál pedig az algoritmuson van a hangsúly. A digitális talajtérképezés számára jelentőséggel bíró osztályozó, regressziós és klaszterező gépi tanulási módszerek (döntési fák, neurális hálózatok, szupport vektor gépek stb.) az adatbányászat prediktív modellezésének alapvető eszközei. Ennek okán az (1.4) formula determinisztikus komponensének komplex modellezése során a digitális talajtérképezésben bátran használható cserekompatibilisen a két fogalom (a továbbiakban én is egymás szinonimájaként használom őket). A digitális talajtérképezés számára az adatbányászat a talajképző tényezők(re vonatkozó térbeli információk) és a térképezendő talajjellemző közti komplex kapcsolatok modellezésének széles tárházát biztosítja (Behrens and Scholten, 2006). Számos összehasonlító, illetve szemle cikk jelent meg a közelmúltban (Ließ et al. 2012; Cavazzi et al. 2013; Bourennane et al. 2014; Collard et al. 2014; Priori et al. 2014; Taghizadeh-Mehrjardi et al. 2014; Brungard et al. 2015; Heung et al. 2016; Zhang et al. 2017), amelyek az adatbányászati módszerek alkalmazásait mutatták be a digitális talajtérképezésben. Jelenlegi kutatásaink során magunk is egyre több módszert vetünk be térképezési feladatainkban (Tóth et al. 2017; Pásztor et al. 2018a; Szatmári & Pásztor 2018), de ezek eredményei még, illetve már nem képezik jelen dolgozat tárgyát. A bemutatásra kerülő eredmények eléréséhez viszont az általánosabban „bevált” módszereknek csak szűk halmazát hasznosítottuk. A következőkben csupán ezek lényegét vázolom röviden, illetve mutatom be talajtérképezési felhasználásukat, amit pár további, perspektívikus módszer alkalmazására vonatkozó példával egészítek ki.

Az osztályozó és regressziós fák (fa alapú osztályozók; Classification and Regression Trees; CART) nem-parametrikus, rekurzív felbontáson alapuló, kiváló prediktív képességekkel rendelkező módszercsaládot képviselnek (Breiman et al. 1984), amelynek alapötlete, hogy bonyolult összefüggéseket egyszerű döntések sorozatából építenek fel (mintegy sorba fejtve azokat). A fát egy ún. tanító adatbázisból rekurzívan állítják elő. Az osztályozó fák mindig a lehető legnagyobb homogén osztályt választják le valamely, jól megválasztott, jellemzően entrópia jellegű mérték (pl.: Gini, Shannon index) szerint. A fákon a kezdőfeltételtől (a gyökérből) egy besorolásig (levélbe) vezető út mentén a feltételeket összeolvasva könnyen értelmezhető döntési szabályokat kapunk, ezért a szabályalapú módszerek között tartják őket számon.

A fa alapú osztályozók számos előnnyel rendelkeznek (Bodon & Búza 2014; Heung et al. 2016).

- Kategória és numerikus típusú változókra egyaránt alkalmazhatók.
- A változók közötti nem-linearitás kapcsolatok esetén is alkalmazhatók.
- A lényegtelen változók nem befolyásolják működésüket és így a fák teljesítménye zaj jelenlétében sem romlik.
- A prediktorok kollineritása nem befolyásolja működésüket.
- Nagyméretű adathalmazokra is hatékonyan felépíthetők.
- A fák szerkezete invariáns a független (numerikus) változók monoton transzformációjára.

A fa alapú osztályozók segítségével nyert döntési szabályhalmazok egyértelműek, így osztályozásra használhatók. Viszont több feltétel sor is vezethet azonos döntéshez, azaz a fa több levele is reprezentálhatja ugyanazt az osztályt.

A döntési, avagy osztályozási fákat hatékonyan alkalmazták a világ különböző részein talajtípusok előfordulásának térbeli modellezésére, azaz hagyományos értelemben vett talajtérképek előállítására (Ausztrália: Moran & Bui, 2002; Brazília: Giasson et al., 2011; Magyarország: Illés et al. 2011, Pásztor et al. 2018c; USA: Scull et al., 2005). Egy speciális alkalmazásnak tekinthető Bou Kheir és munkatársainak (2010) munkája, akik Dánia szerves talajok



által dominált területein ún. hidromorfológiai szerves tájelemek földrajzi eloszlásának becslésére használtak osztályozó fákat. Mindezen munkáknál viszonylag kevés feltárásban elvégzett osztályozás eredményének térbeli kiterjesztése történt meg a helyi fiziográfiai viszonyokhoz illeszkedő talaj-táj modellek szerinti környezeti segédváltozók segítségével.

A döntési fák felhasználhatók a már létező talajtérképekben foglalt talaj-táj modellek megértésére, a felvételezési, szerkesztési szabályok utólagos formalizálására is (Bui & Moran 2001; Häring et al. 2012; Pásztor et al. 2013d; Nauman & Thompson 2014; Odgers et al. 2014). Az így feltárt és döntési szabályokba foglalt összefüggések pedig nagy felbontású környezeti segédváltozók segítségével térbelileg finomított, dezaggregált térképek előállítását teszik lehetővé.

A fa alapú osztályozók nemcsak kategória jellegű, hanem kvantitatív változók becslésére is alkalmasak. Henderson és munkatársai (2005), illetve Bui és munkatársai (2006) talajtulajdonságokat térképezett Ausztrália teljes területére. Greve és munkatársai (2012) szemcseméret frakcióra vonatkozó országos becsléseket végeztek Dániában.

Az osztályozó és regressziós fák hatékonyságának növelése érdekében több irányban történtek fejlesztések. Breiman (1996) bagging majd boosting (Breiman 1998) eljárást javasolt, melynek keretében az osztályozást különböző tanítóadat-halmazokon tanítva, az egyes modellek kombinációja révén áll elő az osztályozási vagy regressziós eredmény. Többek közt Martin és munkatársai (2014), illetve Yang és munkatársai (2016) használták feltalaj szerves szén tartalmának térképezésére. A digitális talajtérképezésben szintén jól teljesített a cubist regresszió (Adhikari et al. 2014; Panagos et al. 2014; Mulder et al. 2015), amelynek során minden szabályhoz egy többváltozós lineáris regresszió tartozik, amely csak a szabály szerinti feltételek esetén alkalmazandó. Az osztályozó és regressziós fák továbbfejlesztésének talán legsikeresebbnek tekinthető eredménye a véletlen erdő (Breiman 2001).

A véletlen erdő (Random Forest; RF) a fa alapú osztályozást erdővé terebélyesíti. Több döntési fa által adott előrejelzéseket kombinálja, mely fák véletlen vektorok egy független halmazának értékei alapján alakulnak ki (Tan et al. 2005). Az egyes fák által történő osztályozás mind a tanuló adatoknak, mind pedig a prediktor változóknak csak egy-egy, véletlenszerűen választott részhalmazát használja. A módszer végeredménye a sokszoros futtatások összedolgozása révén alakul ki. A véletlen erdő sok „gyenge” fát épít, ezáltal lehetőséget teremtve olyan mintázatok felismerésére az adatokban, amelyek elsikkadnának kevés, „erős” fa esetén (Stum et al., 2010). A véletlen erdő osztja az osztályozó és regressziós fák hasznos tulajdonságait, de azokhoz képest pontosabb eredményekre képes és kevésbé érzékeny a túlparaméterezésre. További előnye, hogy képes a prediktor változók fontosságának becslésére, illetve zajos adatok esetén is viszonylag elfogadható eredmények szolgáltatására képes (Hua et al. 2005).

A véletlen erdő viszonylag új módszer a digitális talajtérképezésben, de jó tulajdonságainak köszönhető „népszerűsége” gyors iramban növekszik (Heung et al. 2016; Hengl et al. 2018). Hitziger és Ließ (2014), továbbá Song és munkatársai (2016) a feltalaj textúra osztályának, Heung és munkatársai (2014) a talajképző kőzet, Grimm és munkatársai (2008), Guo és munkatársai (2015), Wiesmeier és munkatársai (2011), illetve Were és munkatársai (2015) szervesanyag tartalom térbeli becslésére használták. Talajtípus térképezés során is jól teljesített (Stum et al., 2010; Barthold et al. 2013; Brungard et al., 2015; Láng et al., 2016), sőt hagyományos talajtérképek dezaggregálása során is (Häring et al. 2012; Rad et al. 2014).

Minden előnye ellenére is némely szerzők szerint a véletlen erdő nem elég robosztus módszer, legalábbis egyéb gépi tanulási módszerekkel való összevetésben (Brungard et al. 2015; Lorenzetti et al. 2015; Were et al. 2015). Éppen ezért kezd egyre nagyobb teret kapni a hibrid modellekben, amelyekben a determinisztikus rész becslését szolgálja, a modell rezidumok interpolálása pedig geostatisztika eszközzel történik (Hengl et al. 2014, 2017; Guo et al. 2015; Szatmári & Pásztor 2018).

Érdemes megjegyezni, hogy (valószínűleg nem véletlenül) véletlen erdőket használtak számos globális, kontinentális léptékű, digitális talajtulajdonság és osztály rétegeket tartalmazó talajadatbázis létrehozásához: SoilGrid 1 km (globális; Hengl et al. 2014); SoilGrid 250 m (globális; Hengl et al. 2017); Afrika (Hengl et al. 2015); Egyesült Államok (Ramcharan et al. 2018).

Alapértelmezésben a véletlen erdőket a célváltozó (feltételes átlag)értékére vonatkozó becslésekre használják. Mint ahogy Meinhausen (2006) rámutatott azonban, a módszer ennél több információ szolgáltatására is képes. Az ún. Kvantilis Regresszió Erdő (Quantile Regression Forest; QRF) eredményeképpen a célváltozó teljes feltételes eloszlása becsülhető a szolgáltatott kvantilisok révén, melynek segítségével a predikció bizonytalansága is modellezhető. A digitális talajtérképezésben kifejezetten új megközelítésnek tekinthető (Rudiyanto et al. 2016; Vaysse & Lagacherie 2017; Szatmári & Pásztor 2018).

A digitális talajtérképezésben számos további gépi tanulási módszert is bevetettek, melyek közül csak azokat veszem röviden számba, melyek viszonylag szélesebb körben is alkalmaztak. Osztályozási céllal igen elterjedt a többválaszú logisztikus regresszió (multinomial logistic regression; Kempen et al. 2009; Debella-Gilo & Etzelmüller

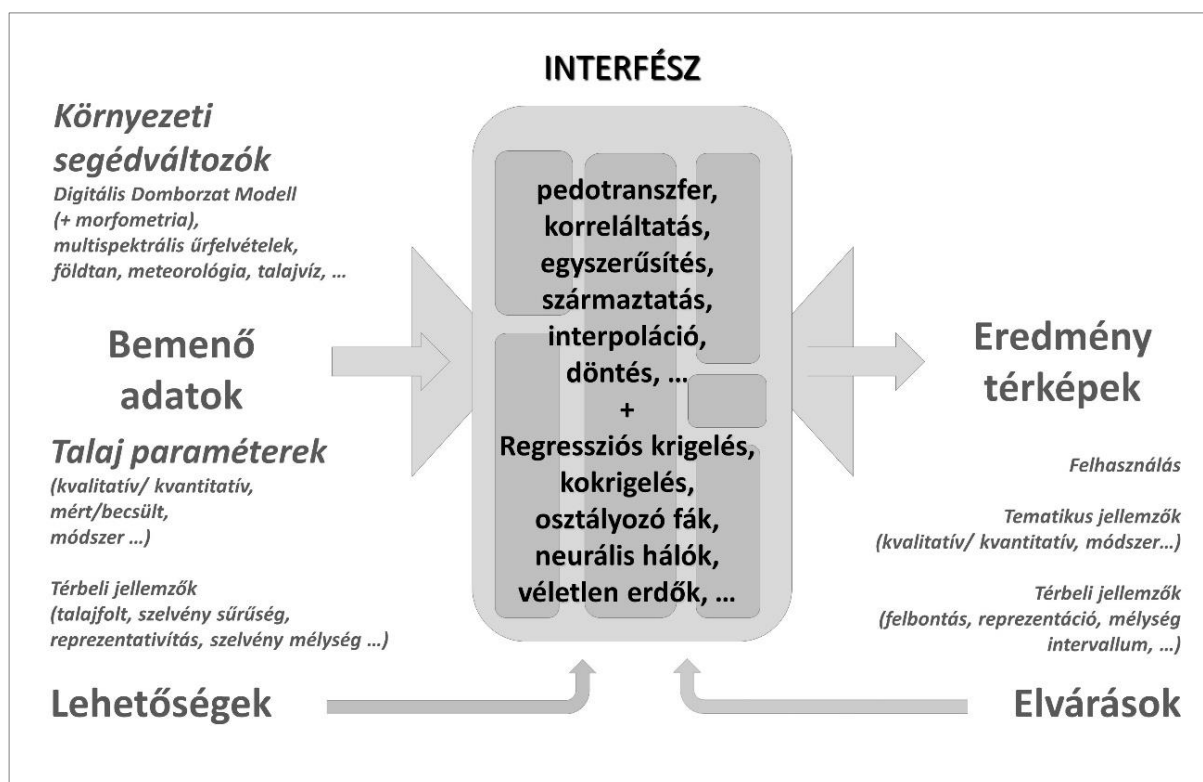
2009; Collard et al. 2014). Némiképp a logisztikus regressziók továbbfejlesztéseként lehet tekinteni a mesterséges neurális hálókra (Artificial Neural Networks; ANN). Használták őket többek közt talaj fizikai (Pachepsky et al. 1996; Chang and Islam 2000; McBratney et al. 2000; Priori et al., 2014) és kémiai tulajdonságok (Amini et al. 2005; Patel et al., 2002; Saffari et al. 2009), erózió (Kim & Gilley 2008; Licznar & Nearing 2003), illetve talajtípusok (Behrens et al. 2005; Illés et al. 2011; Silveira et al. 2013; Bagheri Bodaghabadi et al. 2015) becslésére. A DTT kereti közt korábban kevésbé használt, de szintén ígéretesnek látszó módszert képviselnek a Bayes-hálók (Bayesian [Belief] Network; B[B]N), amelyek olyan valószínűségi modellek, melyeknél az előzetes valószínűségek egyéb mérésekből, megfigyelésekből is származtathatók, így ideális lehetőséget biztosítanak archiv adatok, vagy egyéb forrásból ismert talaj-táj modellek ismereteinek beépítésére a predikció folyamatába (Taalab et al. 2015; Poggio et al. 2016a,b). Végül, de nem utolsó sorban említést érdemelnek a szupport vektor gépek (Support Vector Machines; SVM), amelyeket osztályok fázistérbeli, hipersíkkal történő optimális elválasztására dolgoztak ki (Witten and Frank 2005; Hastie et al. 2009). Az SVM manapság már gyakran alkalmazott osztályozási algoritmusnak tekinthető a távérzékelésben, a digitális talajtérképezésben azonban még viszonylag lassan terjed (Ahmad et al. 2010; Kovačević et al. 2010; Priori et al. 2014; Lorenzetti et al. 2015; Were et al. 2015), bár perspektivikusnak látszó módszer.

## 1.6 Motivációk, a dolgozat felépítése

Munkám során folyamatosan szembesülök különböző szakterületek eltérő(en megfogalmazott) térbeli talajinformációs igényeivel, amelyek időnként túl általánosak, máskor pedig szinte megválaszolhatatlanul specifikusak. Az elvárások szakmailag vállalható kielégítésének keresése két motivációt fejlesztett ki és erősített meg bennem:

- (i) Törekvés a felhasználói igények minél alaposabb megismerésére. A felhasználó céljainak megértése alapján a talajtakaró jellemzésének részletes specifikálása, kitérve a tematikára, annak reprezentációjára, a térbeli léptékre, felbontásra a lehetőségek szabta korlátok között.
- (ii) Az előbbit követően és arra alapozva pedig talajtulajdonságokra, -funkciókra, illetve -folyamatokra vonatkozó, a felhasználói igényeket célzottan és optimálisan kielégítő talajtérképek elkészítését lehetővé tevő, célspecifikus, térbeli predikciók kidolgozása, talajtani és környezeti adatok, klasszikus talajtani tudás, modern gépi tanulási, térstatisztikai módszerek és térinformatikai környezet integrálásával.

Kutatásaim központi kérdése, hogy milyen módon és eredményességgel van ez utóbbira lehetőség. A 1.11 ábra ezen térképezési munkálatok logikai keretét foglalja össze grafikus formában.



1.11. ábra Digitális céltérkép előállításának komponensei és szempontjai.

Munkáink eredménye jellemzően két, egymással összefüggő, de mégis önálló részből tevődik össze: egyrészt az adott cél elérésére kifejlesztett predikció(k), másrészt az ezek alapján készült tematikus céltérkép(ek) lehetőség szerint kiegészítve a térbeli megbízhatóságra vonatkozó becsléssel. Az *Összefoglalás, új tudományos eredmények* fejezet 7.1. táblázatában fejezetekre bontva sorolom fel a dolgozatban bemutatásra kerülő predikciókat és azok eredményeit.

A módszerek fejlődésével és/vagy a rendelkezésre álló adatok bővülésével az adott kihívásra megújított válaszok adhatók, amely időnként együtt jár a kérdések ismételt feltevésével (lásd például a 3.1 és az 5. fejezeteket). Ennek megfelelően a dolgozatban bemutatott predikciókat és azok eredményeit nem tekintem véglegesnek, sőt mindegyik esetén reménykedem pontosabb, megbízhatóbb válaszok megadásának lehetőségében. Ez egy-két esetben már megtörtént, illetve folyamatban van, de ezek dolgozatban történő teljeskörű megjelenítésére már nem vállalkoztam, mivel erre való tekintettel azt soha nem lehetne lezárni.

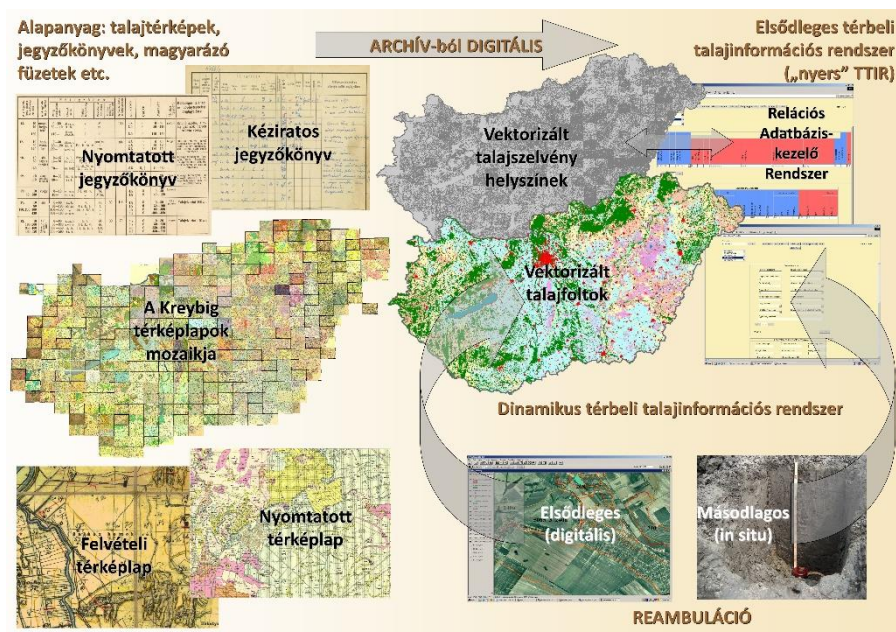
Mindezek alapján a dolgozatban tárgyalásra kerülő kutatásaim bemutatását a következőképpen építettem fel.

- A 2. fejezetben a Kreybig térképezésből származó archív, térképi alapú, illetve szöveges formában rendelkezésre álló talajtani adatok térinformatikai feldolgozása révén létrejött Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer többszintű rembulációját (megújítását), illetve ezzel összefüggően információtartalmának feladatorientált kiaknázását célul tűző digitális talajtérképezési munkákat és ezek eredményeit mutatom be.
- A 3. fejezetben a DKTIR országos kiépülésével új megvilágításba kerülő két lehatárolási probléma (természeti hátránnyal érintett területek, illetve kiváló és jó termőhelyi adottságú szántóterületek országos kijelölése) funkcionális talajtérképi vonatkozásait tárgyalom. Bemutatom az országos lehatárolásra kidolgozott, feladatorientált, digitális talajtérképezési módszereket; továbbá a biofizikai kritériumokkal jellemzett, természeti hátrányokkal érintett területek előfordulására, illetve a termőhelyi minőségre, talaj produktivitásra vonatkozó országos becsléseket.
- A 4. fejezetben a hazai talaj téradatok (térbeli talajinformációk, talajtérképek) előállításának digitális talajtérképezési módszerek felhasználásával történő újragondolását mutatom be. Bevezető esettanulmányként egy zala megyei, ezt követően országos fedettségű, a teljes pordonra, illetve a talaj egyes rétegeire vonatkozó, tematikus talajtulajdonság térképek előállítását és ezek eredményeit tárgyalom. Az elsődleges talajtulajdonság térképeken túllépve a vízerózió mértékének térbeli becslése, a szélerózió veszélyeztetettség digitális modellezése, továbbá egyes talajfunkciók térbeli becslése digitális talajtulajdonság térképek és a 4M növény szimulációs modell integrálásával kapott helyet a fejezetben.
- Az 5. fejezetben a Tokaji történelmi borvidék termőhelyi potenciáljának feltárása céljából végzett, a mintavétel-tervezéstől a célspecifikus digitális talajtérképek előállításáig tartó térképezési-felvételezési munkafolyamat kialakítását és annak eredményeit mutatom be röviden.
- A 6. fejezetben zárásul és kissé kitekintésképpen földfelszíni, felszínközeli rétegek komplex környezeti folyamatainak a digitális talajtérképezés koncepciója alapján végzett térbeli modellezésére mutatok két példát Szabolcs-Szatmár-Bereg megye belvizi veszélyeztetettségi, illetve Pest megye geogén radonpotenciál térképének előállításával kiegészítve a megbízhatóságukra vonatkozó becsléssel.

Egyes munkálatok tematikusan több fejezetbe is illeszkednek. Ezeket részletesebben csak egyikben mutatom be, de a másikon is röviden tárgyalom egyes aspektusainak kiemelésével az ottani teljesebb kép kialakítása céljából. A fejezetek közti átjárást kereszthivatkozások használatával próbálom megkönnyíteni.

## 2 A Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer (DKTIR) digitális reambulációja és információtartalmának feladatorientált kiaknázása

A fejezetben a Kreybig térképezésből származó archív térképi alapú, illetve szöveges formában rendelkezésre álló talajtani adatok térinformatikai feldolgozását, többszintű reambulációját (megújítását) és információtartalmának maximális kiaknázását célul kitűző digitális talajtérképezési munkákat mutatom be. Ezek során elvégeztük egyrészt a Kreybig térképezés archívumának teljes feldolgozását, a térképi elemekre és a talajszelvényekre vonatkozó összes térbeli és tematikus információ integrálásával. Számos mintaterületen reambulációs munkálatok történtek, melyek eredményeként elkészült a Kreybig térképezési elvek alapján levezethető, legrészletesebb térbeli felbontású mintázat. A számítógépes reambuláció során digitális domborzat modellekre, részletes topográfiai térképekre, tematikus térbeli adatbázisokra és aktuális légifelvételekre támaszkodtunk. A Kreybig archívum feldolgozásának és reambulációjának főbb lépéseit a 2.1 ábra foglalja össze.



2.1. ábra A Kreybig archívum feldolgozásának és reambulációjának főbb lépései

Az elsődleges adatbázis alapján célirányosan megtervezett terepi mintavételezés az újonnan felvett adatok területi kiterjeszhetőségét optimalizálta. Az aktualizált DKTIR pontadatbázis alapján a Kreybig felvételezést követő, részletesebb talajtérképezések során használt talajkartogramokkal analóg, (például a talajok szervesanyag tulajdonságaira vonatkozó) tematikus, illetve feladatspecifikus funkcionális digitális talajtérképeket szerkesztettünk. A talajfoltokra vonatkoztatott, a térbeli és tematikus pontosítás, finomítás, aktualizálás különböző szintjein rendelkezésre álló információk térbeli megbízhatóságának becslésére indikátorfüggvény vezettem be. Az elvégzett geoinformatikai és terepi munkálatok végtermékei a mintaterületek elsődleges és másodlagos digitális, illetve a terepen történt harmadlagos reambulációjának eredményei alapján szerkesztett, a talajtakaró egyes tulajdonságainak aktuális állapotát tükröző, a Kreybig alapokon nyugvó, de egyben megújított, talajfolt térképek, melyeket a relatív területi megbízhatóság feltüntetésével kiegészítve szerkesztettünk. A fejezet második részében példákat mutatok a DKTIR információtartalmának mélyebb kiaknázására és ezzel a térbeli talajtani információ előállítás és szolgáltatás Kreybig felvételi adatokon nyugvó, de annak térképezési elvein túlmutató lehetőségeire.

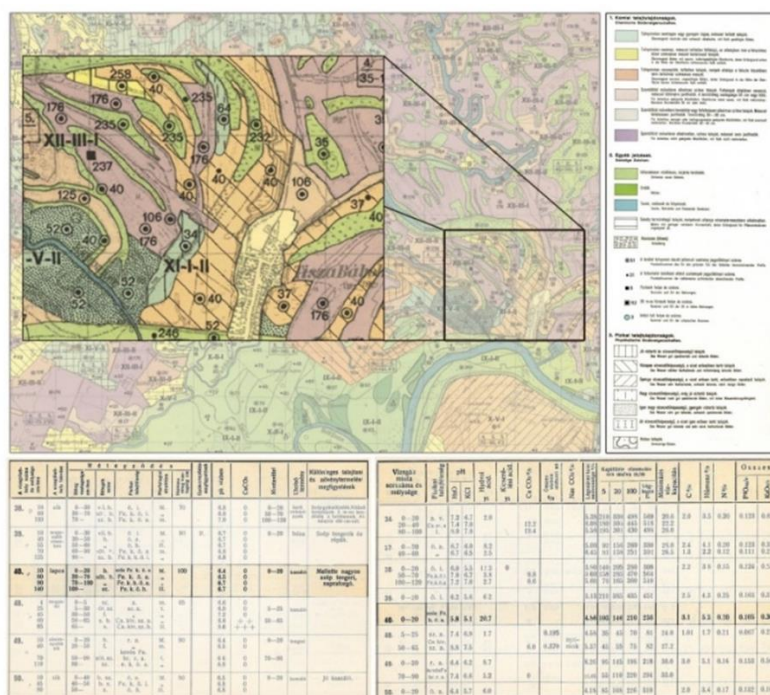
### 2.1 A DKTIR térinformatikai feldolgozása

#### 2.1.1 Az alapanyag: Kreybig-féle Átnézetes Talajismereti térképezés

A Kreybig Lajos által kezdeményezett és vezetett országos átnézetes talajismereti térképezés célja egy olyan szelvényezett térképsorozat készítése volt, *„amelyekből közvetlenül azokat a talajtulajdonságokat állapíthatjuk meg, amelyeknek egyrészt a talajban élő lényeknek, másrészt a termesztett növényeknek élettani feltételeit tárják elélnk.”* (Kreybig, 1938). A Kreybig-féle térképezés volt az első olyan országos szintű, nagyléptékű helyszíni talajtani- és laboratóriumi vizsgálatokon alapuló felvételezés, amely kifejezetten gyakorlati célokat szolgált szem előtt tartva, hogy *„a termelést irányító szerveknek, az agrárpolitikusoknak, a gazdáknak, úgymint a termesztés kérdéseivel tudományosan foglalkozó intézményeknek a talajadottságok helyi fekvésébe, kiterjedésébe és irányt*

adón a részlettulajdonságokba is betekintést adjon.” (Kreybig, 1937). Az MTA ATK TAKI egyrészt a Kreybig archívum őrzője, ugyanakkor alkalmazója is, mert információs bázisként korábban is felhasználta regionális léptékű térképek szerkesztéséhez: Magyarország 1:200.000 méretarányú genetikai talajtérképe (Stefanovits & Szűcs, 1961), Agrotopográfiai térképsorozat (Várallyay et al., 1979, 1980).

A Kreybig-féle térképek térbeli alapegységei (bizonyos, talajtanilag nem osztályozott, egyéb földhasználati kategóriába eső területektől eltekintve) az azonos fizika- és kémiai tulajdonsággal jellemzett talajfoltok, illetve az adott talajfoltra vonatkozó, reprezentatív valamint a folt heterogenitását jellemző, eltérő tulajdonságú talajszelvények. A térképek a talajtani és földhasználati viszonyokat együttesen ábrázolták. A földhasználati viszonyokat egyszerűsített formában adták meg megkülönböztetve a művelt területeket (szántó, gyümölcsös, rét-legelő), időszakosan vízállásos, vízjárta területeket, erdőket, tavakat, nádasokat, folyóvizeket, településeket. A művelt területek talajait folt szinten fizikai és kémiai tulajdonságaik alapján jellemezték, illetve a sekély termőrétegűséget külön jelezték. A talajfoltokhoz a talajok termelési értékét meghatározó, a növénytermesztésben érvényesülő “belső talajtulajdonságokat” jellemző kvalitatív (szöveges) adatok tartoznak. A térképlapokhoz csatolt magyarázó füzetek a terület részletes talajtani és környezeti jellemzésére szolgáltak valamint a reprezentatív talajszelvények felvételi és laboratóriumi jegyzőkönyvek adatait tartalmazzák (2.2 ábra).



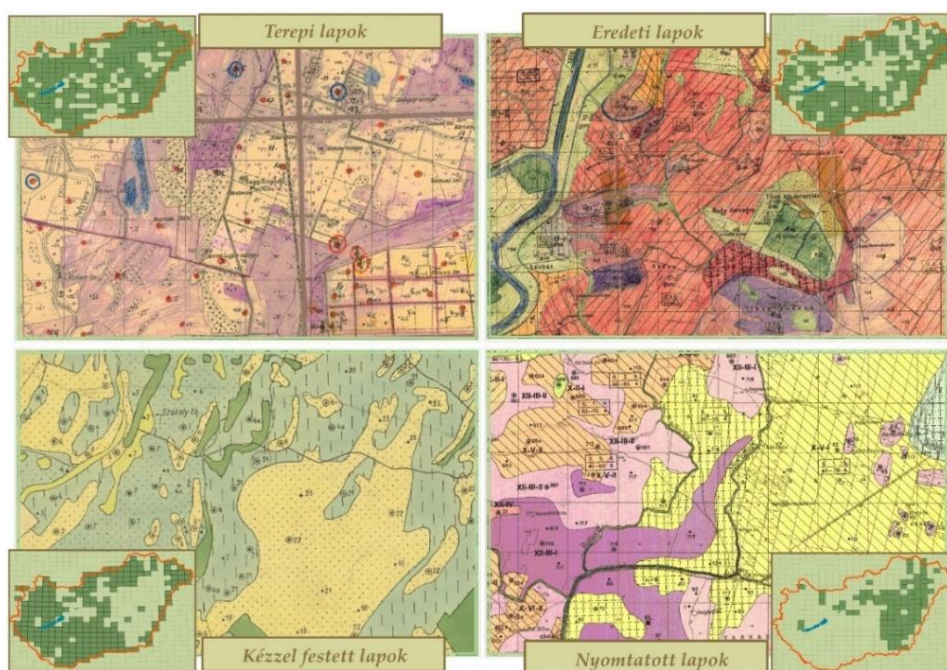
2.2. ábra Nyomatott Kreybig térképlap és magyarázófüzet.

A felvételezők topográfiai alaptérképen jelölték be a talajszelvények és fúrások valódi helyét, azonosítóját és típusát, valamint elkülönítették a talajfoltokat: ezek a kéziratos szelvények. Kétféle kéziratos szelvényfajtát különböztetünk meg a feldolgozottság mértéke szerint: a terepi szelvényeket és az eredeti szelvényeket. A terepi szelvények tulajdonképpen speciálisan előkészített topográfiai térképek, amelyek terepi észleléseket és jelöléseket tartalmaznak, de nem nyújtanak egyértelmű segítséget a talajfoltok elkülönítéséhez. A terepi szelvényeken a talajszelvényeket eredeti helyeik feltüntetésével és típusaik megkülönböztetésével ábrázolták. Az eredeti szelvények is topográfiai térképek kézi színezéssel és sraffozással, a talajszelvények eredeti helyének feltüntetésével és típusainak megkülönböztetésével. A nyomtatott térképek szerkesztésének előkészítéséhez több példányban készítettek ún. kézfestéses szelvényeket. Ezen szelvények csak a fontosabb topográfiai elemeket tartalmazzák, amelyeket kézzel szerkesztettek át a topográfiai térképről. Eltekintve az esetleges sérülésektől, illetve a színek kifakulásaitól ezen szelvényeken határozhatóak el legjobban a talajfoltok. A különböző típusú Kreybig térképlapokra mutat példát a 2.3 ábra, amely feltünteti egyben azok fellelhetőségét az archívumban.

A jellemző talajszelvényeket rendszerint foltközéppontra vonatkoztatva találjuk. A nyomtatott szelvények a háttérben a topográfiai szelvény szürke színű nyomtatát tartalmazzák. Vetületi rendszerüktől függően vagy a földrajzi szélességi- és Ferrói kezdőmeridiántól mért hosszúsági koordinátákat vagy csak kilométer hálózatot tartalmaznak. A tematika színes nyomatként jelenik meg. A talajszelvények ábrázolása nem egységes. Általában foltközéppontra vonatkoztatva találjuk az ún. “jellemző” talajszelvényeket és alatta középen sorban a folton belül előforduló ún. “eltérő” talajszelvényeket. Előfordul azonban az eredeti szelvényeknél alkalmazott talajszelvény

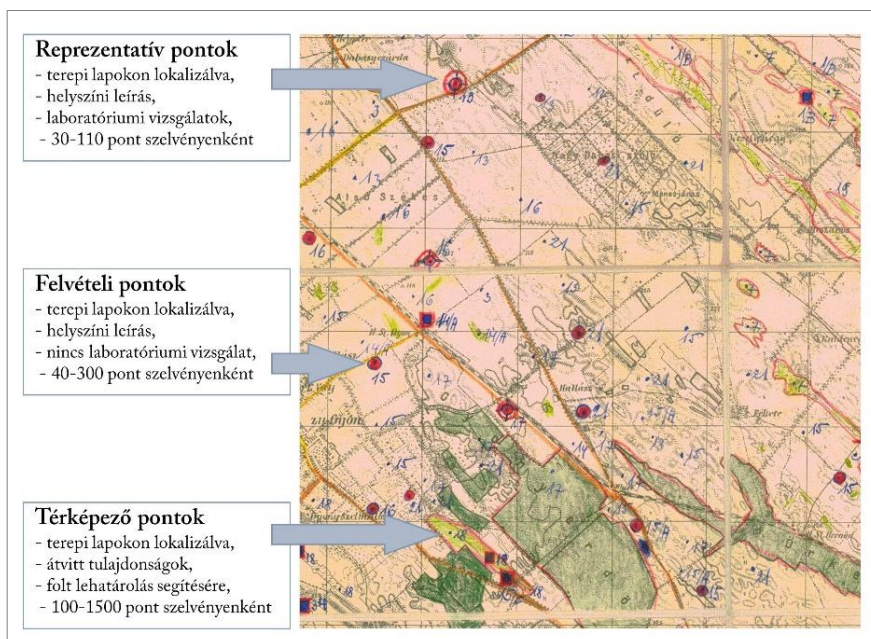


ábrázolás is. Az eltérő vetületi rendszerű (sztereografikus, henger rendszerek) topográfiai alapokon szerkesztett talajtérképek méretaránya is különböző; jórészt 1:25.000, de néhol csak 1:50.000 méretarányú szelvények állnak rendelkezésre.



2.3. ábra A Kreybig térképlapok típusai és azok fellelhetősége az archívumban.

A Kreybig térképezés egyik fontos jellemzője, hogy a térképek talajfoltjaihoz egy reprezentatív és több további, az adott foltban belül előforduló komponenseket képviselő talajszelvény rendelődik (2.4 ábra). Ezen szelvények együttesen az adott terület heterogenitásáról szolgáltatnak információt. A foltban előforduló talajszelvényeket a felvételezési-, a kéziratos- és egyes nyomtatott térképlapokon térbelileg hűen ábrázolták, megkülönböztetve a területre jellemző és a foltonként megtalálható eltérő tulajdonságú talajszelvényeket. Azon talajszelvényeket, amelyből talajmintát vettek, a laboratóriumi vizsgálatok céljából a felvételezési és a kéziratos szelvényeken külön jelölték. Az egy térképlapon belül található talajszelvények kódolásánál kihasználták a talajszelvények hasonlóságát és amennyiben a feltárt szelvényhez hasonló földrajzi pozícióban lévő, közel hasonló tulajdonságokkal rendelkező talajszelvényt már leírtak, akkor annak kódját rendelték a feltárt talajszelvényhez. Így fordulhat elő egy térképlapon belül több azonos kódú talajszelvény. A mintavétel helye a terepi munkálatok során használt terepi lapokon jól dokumentált.



2.4. ábra A Kreybig térképezés során használt mintavételi típusok.

Reprezentatív szelvények alkalmazása gyakori megoldás a hagyományos talajtérképezésben a talajszelvény feltárásból származó részletes, de pontszerű információk és a talaj variabilitását nagyobb léptékben megjelenítő talajfoltok összekapcsolására. (Leenhardt et al., 1994; van Engelen & Pulles 1990 [SOTER: Soils and Terrain Digital Databases]; Panagos 2006 [SGDBE: Soil Geographical Database of Eurasia]). A nem-reprezentatív talajszelvények használata azonban a folton belüli, nem-térképezhető heterogenitás jelzésére egyedi megoldásnak tekinthető. Az ezáltal szolgáltatott plusz információ hatékony kiaknázására a digitális talajtérképezés korszerű eszközei teremtenek lehetőséget (lásd 2.2.2 alfejezet).

A talajszelvényekre vonatkozó felvételi és laboratóriumi jegyzőkönyvek adatait a térképlapokhoz csatolt magyarázó füzetek tartalmazzák a terület részletes talajtani és környezeti jellemzésével együtt.

A Kreybig térképezés adatainak feldolgozása 1998-ban kezdődött az MTA TAKI GIS Laborban (Szabó et al. 2000) a térképanyag szkenneléssel történő archiválásával és a képek Egységes Országos Vetületi Rendszerbe történő transzformációjával. A geometriai adatok vektorizálása (talajfoltok, mint poligonok és talajszelvények, mint pontok) térképszelvényenként történt. A térbeli adatok és a talajszelvény adatbázis feltöltése egymástól függetlenül haladt. A térképlapokhoz csatolt magyarázó füzetekben található talajszelvények felvételi és laboratóriumi jegyzőkönyvi adatbázisának feltöltése egy speciálisan fejlesztett adatbeviteli és ellenőrző program segítségével történt. A munkalapok kialakításánál elsősorban a magyarázó füzetekbeli jegyzőkönyvek felépítését vettük alapul, megkönnyítve ezáltal az adatbevitelt és csökkentve a kódolási hibákat. A folt mintázat és a pont adatbázis elsődleges feltöltése az ország lényegében teljes, térképlapokkal fedett területére 2010-re készült el.

### **2.1.2 A DKTIR elsődleges, országos, digitális reambulációja**

A DKTIR a Kreybig-féle talajismereti térképezés adataira épülő, de egyúttal a térinformatika nyújtotta lehetőségeket is kihasználó országos térbeli talajinformációs rendszer, mely a térképezés megfigyelési pontokhoz kötött felvételi alapadatait és a térképszerkesztés során a térképezési célok szerint lehatárolt talajfoltokat egyaránt tartalmazza. Az analóg módon tárolt Kreybig-féle adatokból kinyert, az eredeti adatszerkezetet és a legmagasabb feldolgozottsági állapotúnak tekinthető térbeli struktúrát tükröző digitális állományt tekintjük a DKTIR 1.0 verziójaként. 2010-ben vált először országosan lekérdezhetővé és megjeleníthetővé a teljes felvételi adatállomány, ugyanakkor nyilvánvalóvá vált az is, hogy a feldolgozott, archív adatrendszer helyenként ellentmondásos, illetve hibás adatokat is tartalmaz. A felvételi anomáliák egy része a felvételezés hosszú idejére vezethető vissza. A csaknem 20 év alatt felmerült felvételezési és kartográfiai igények természetesen már nem voltak „visszavezethetők” a korábbi lapokra, ennek megoldása már az utókorra maradt. Az országos állományban előfordultak olyan, adatokban szegény területek is, amelyeknél látszólag nem volt indokolt a környezetükhöz viszonyítva nagymérvű információhiány. Mintaterületi alkalmazásoknál is nyilvánvalóvá vált, hogy a nyers adatok digitális formában történő közvetlen alkalmazása nem vezet megfelelő eredményre. Szükségesnek látszott az 1.0 verzió megújítása, az adatrendszeren belül feltárt anomáliák feloldása, és egy ebből kiinduló, javított, tematikájában és geometriájában is megújított, integrált 2.0-ás, digitálisan reambulált adatrendszer kialakítása. Az 1.0 verzió vizsgálatának és újbóli ellenőrzésének (Pásztor et al. 2013b) elsődleges célja az volt, hogy valamennyi elérhető analóg információ hiány-, és hibamentesen immár digitális formában álljon rendelkezésre. Az állományok tisztázásának eredményeképpen az eltérő adatbázis elemek (talajparaméterek, mintavételi hely, talajfolt, stb.) vizsgálati egységen (lapon) belüli és azok közötti összekapcsolásával az adatbázis konzisztenciája erősödik.

Jellemző problémák egy-egy lapon belül:

1. Az adatelemek hiánya (elveszett térkép), vagy alacsony száma és színvonala (kevés és nem valós térbeli pont).
2. A vizsgálati helyek jelölésénél és csoportosításánál egyedi, az egységestől eltérő módszer alkalmazása (számsorozat, római számok, azonos adottságú pont eltérő betűs jelölése).
3. Az egységes térképi jelkulcs hibás, vagy hiányos alkalmazása.
4. A terepi vizsgálat térképelemeinek egyszerűsítése, elhagyása, hibás átvezetése.
5. A jegyzőkönyvi adatok és a térképi objektumok kapcsolatának hiánya (jellemzően a hibás hivatkozási névhasználat miatt).
6. A talajfolt és az őt jellemző szelvény közötti logikai kapcsolat elégtelensége (folt több jellemző ponttal vagy pont nélkül).
7. Időben vagy térben eltérő többszöri felvételezés miatti párhuzamosságok.

Jellemző problémák az egyes lapok között:

1. Az egyes lapok információtartalmának, részletgazdagságának különbségei (különös szembetűnő módon szomszédos térképszelvények esetén).
2. Térképlap szélek illeszkedési hibái (geometrikus, vagy tematikus ellentmondás a szomszédos lapok között).

3. „Kakukktojás” lapok (nem a „nagy” felmérési időszakban felvett lapok, más logikával, vagy más léptékben készültek).
4. A korábban kiadott jelkulcshoz képest (meg)új(ult) kartográfiai elemek megjelenése a térképezés későbbi szakaszában (kövesség jelölésének utólagos bevezetése).

A 2.0 változat létrehozásának elsődleges célja, hogy egy maximalizált adattartalmú, egységes módszertani háttérrel rendelkező, metaadatokkal kiegészített, az 1.0 változatnál konzisztensebb adatrendszer álljon rendelkezésre. A 2.0 adatrendszer kialakításához szükséges feladatok:

1. A rendelkezésre álló adatcsoportokból a legnagyobb mennyiségű és legjobb minőségű adatkombináció kialakítása és a többi elvetése.
2. Átkódolás (a helyes logikájú, de az egységes jelöléstől eltérő elemek átkódolása).
3. Átfordítás (az egységes logikától eltérően kialakított, „hibás” adategységek bevonása) adathiányok pótlása saját forrásból (talajtani szaktudás és a töredékes adatok birtokában a hiányzó információ szakértői rekonstrukciója, becslése).
4. Adathiányok pótlása külső forrásból (a Kreybig-féle módszertantól eltérő rendszerben létrehozott talajadatok -pl. Tatai járás felvételezése- integrálása).
5. Metaadatok létrehozása az adatbázis egyes elemcsoportjainak minősítése érdekében (az egyes felvételezők, felvételezések esetleges hibáinak és azok javításának katalogizálása).
6. Metaadatok létrehozása az adatbázis egyes elemcsoportjai közötti elvárt adatkapcsolatok értékelhetősége érdekében (a ponthoz kapcsolható adattartalom mennyiségére és minőségére vonatkozó információ bevezetése a feltárási pont attribútum adatai közé).
7. Újabb adat felvételezéssel, illetve speciális térinformatikai módszerekkel az 1.0 térbeli és tematikus tartalmának konstruktív pontosítása és kiegészítése.
8. Pontokhoz kötött információk tematikus megújítása, például azok konverziója révén, melyek alapján új típusú térképek készítése (pl. diagnosztikai tulajdonságok előfordulási valószínűségét feltüntető térképek).

Az egységes módszertantól eltérő rendszerű adatokkal való kiegészítés során számos, az eredeti felvételezésből eredő anomália tárult fel, mind a felvételi lapokon belül, mind a lapok között. Általában egy adott lap részletes vizsgálatával ezek a „hibák” értelmezhetőkké és javíthatókká váltak, mivel a felvételi lapok önmagukban koherensek, logikusak, viszont az egyes lapok egymáshoz való kapcsolódása nem mindig egyértelmű és tisztázása nem nélkülözheti a talajtani-térképezési ismereteket. Az eltérések javítása nem önkényes, értelmezéséhez minden egyes felvételi lap valamennyi felvételezési állapotának megfelelő térképet és az összes, akár csak kéziratosan, vagy töredékben meglévő leíró adatot figyelembe vettük. Az adatbázis elemek összevetésével feltárt anomáliákat nyomon követhető módon korrigáltuk.

Az értelmező-javító munka legnagyobb hozadéka a foltokra jellemzőnek tekinthető, illetve laboratóriumi vizsgálati eredménnyel rendelkező pontok számának érdemi növekedése. Ez utóbbi pontok az adatbázis kapcsolat „helyreállításából” származnak, amikor bizonyíthatóan a felvételező az általa azonosnak ítélt felvételi pontokat az eredeti módszertantól eltérően „alásorolta” a jellemző pontnak, azzal a megjegyzéssel, hogy tulajdonságaikban megegyeznek az előzővel. Ekkor, a Kreybig térképezés során alkalmazott módszer szerint (Kreybig, 1937), a jellemző pont laboratóriumi adatait érvényesnek tekintettük az alárendelt pontokra is.

A Kreybig térképezés során elkészült (analóg) térképlapok egyedi kartográfiai terméket képviseltek saját talajfolt struktúrával. Az ezek alapján felépülő térbeli talajinformációs rendszer azonban egy olyan entitás, amelynél a szomszédos lapoknál nem, vagy nem megfelelően elvégzett határegyeztetés következményei azonnal szembetűnőek. A geometriai önkonzisztencia biztosításához a digitalizált, vektorizált szelvényenkénti állományok geometriai és tematikus illesztése szükséges.

A feldolgozásra kerülő szelvényeket a digitális képi archiválás után Egységes Országos Vetületi Rendszerbe transzformáltuk. Ismerve a Kreybig-féle térképezés alapjául használt topográfiai szelvények szelvénykiosztását, továbbá rendelkezvén ezen hálózat egységes országos vetületű változatával, ezt a térképszelvények sarokpontjainak transzformációja révén végeztük. A munkálatok folyamán kiderült, hogy ezt az elsődleges transzformációt továbbinak kell követnie, ugyanis 100 méter nagyságrendű hiba terheli. A másodlagos transzformációt már a digitalizált, vektorizált állománnyal végeztük. Ehhez nagyléptékű, digitális topográfiai térképeken, vagy távérzékelt képeken (légi vagy űrfelvételek), illetve a Kreybig térképeken meghatározott illesztő pontokat használtunk.

A feldolgozott térképlapok számos helyen határmenti illesztésre szorultak. A térképezés módszertana ugyan magába foglalta a határmenti korreláció és korrekció elvégzését, ennek ellenére a digitális feldolgozásra kerülő szelvények határaik mentén nem feltétlenül konzisztensek. Ennek egyik oka a rendelkezésre álló szomszédos szelvények feldolgozottságának eltérő foka lehet (Szabó et al., 2000). Ilyen esetben a két lap között elvégzett eredeti illesztés eredményei elvesztek az utókor számára, a határmenti korrekció újra elvégzendő feladattá vált,



immáron azonban egy korszerű téradat infrastruktúra kereteit felhasználva. Másik ok lehet a szomszédos lapok felvételezésében esetlegesen bekövetkezett időbeli elcsúszás, hisz számos térképlap megsemmisült a háborúban, amelyeket újra kellett felvételezni jó egynehány évvel az eredeti munka elvégzése után. Az elkészült (analóg) térképek egyedi kartográfiai terméket képviseltek. Ez a tény elfedte az ilyen típusú hibákat, mivel ritkán használták egyszerre a szomszédos térképszelvényeket. Ha mégis találkozott valamely (fel)használó ilyen problémával, nemigen volt kinek, minek jeleznie és így esetleges javítása sem válhatott a teljes rendszer, azaz az eredeti térképsorozat javára, hisz nem lehetett a szükséges korrekciót megfelelően átvezetni. Természetesen a digitális feldolgozás egyes munkafolyamatainak során is becsúszhattak hibák, ezeket szerencsére könnyebb volt visszakövetni és ez alapján korrigálni.



2.5. ábra Eltérő feldolgozottság, szomszédos térképlapok találkozása.

A szelvény határok menti korrekciókat új határvonalak húzásával, korábbiak átszerkesztésével, szomszédos foltok összevonásával, időnként pedig tematikus egyeztetéssel végeztük. A kétséges esetek feloldására nagyléptékű, immáron az aktuális állapotokat tükröző, digitális topográfiai térképeket, és távérzékelt adatokat, valamint független talajtani és egyéb tematikus adatokat használtunk fel. A digitális szelvények geometriai és tematikus illesztésük után egyesíthetők, mely művelet révén nagyobb területeket lefedő, összefüggő és egyben konzisztens talajtani-földrajzi mintázat állítható elő (Pásztor et al., 2001).

Egy igen fontos és egyben kényes kérdés az adatbázis hiányzó szelvények területére (döntően az országhatár mentén) való feltöltése. Nyilvánvalóan nem lehet egyenértékű az eredeti felvételezés adatainak feldolgozásával, de a digitális talajterképezés eszközeinek segítségével, továbbá a Kreybig-féle térképezési elveket szem előtt tartva, lehetőség nyílt a hiányos adatbázis kiegészítésére, pótlására, amihez a nagyléptékű digitális topográfiai térképek, távérzékelt, valamint független talajtani adatok mellett egyéb felszínborítási, területhasználati tematikus információkat használtunk. Ezen kiegészítő térbeli információk alapján a Kreybig elveknek megfelelő kategóriákat próbáltuk azonosítani, és az ugyancsak ezek szerinti határokat meghúzni, ha nem is mindig az 1:25.000-es méretarányának megfelelő részletességű felbontással. A mezőgazdasági földhasználattal jellemzett területekre a digitálisan elérhető egyéb talajtani adatokbázisok (AGROTOPO, TIM stb.) felhasználásával tudtuk a leíró adatbázist legalább részlegesen feltölteni.

## 2.2 A DKTIR másodlagos, digitális és harmadlagos, mintaterületi reambulációja

Az elsődleges, digitális reambuláció országos végrehajtása után a DKTIR egy valódi TTIR-nek tekinthető még a szigorúbb kritikusok szerint is (Rossiter, 2004). Egy TTIR alkalmazhatóságának azonban igen fontos kritériuma annak megbízhatósága. A DKTIR további lehetőséget is biztosít térbeli és tematikus pontosságának növelésére. Amennyiben egy térbeli talajinformációs rendszer a benne tárolt adatok keletkezése óta a földhasználati viszonyokban bekövetkezett szembetűnő változásokról nem tud számot adni, megingathatja a felhasználóban az adatrendszer alkalmazásába vetett általános bizalmát, még akkor is, ha esetleg a lényegben, azaz a térképezett talajtulajdonságokban a terület nagy részén nem is történtek jelentős változások. A TTIR megfelelő téradat infrastruktúrába integrálásával kezelhető vált ez a probléma is. Az egész rendszer megbízhatósága és pontossága növelhető az aktuális földhasználatról, felszínborításról, topográfiáról rendelkezésre álló térbeli információk

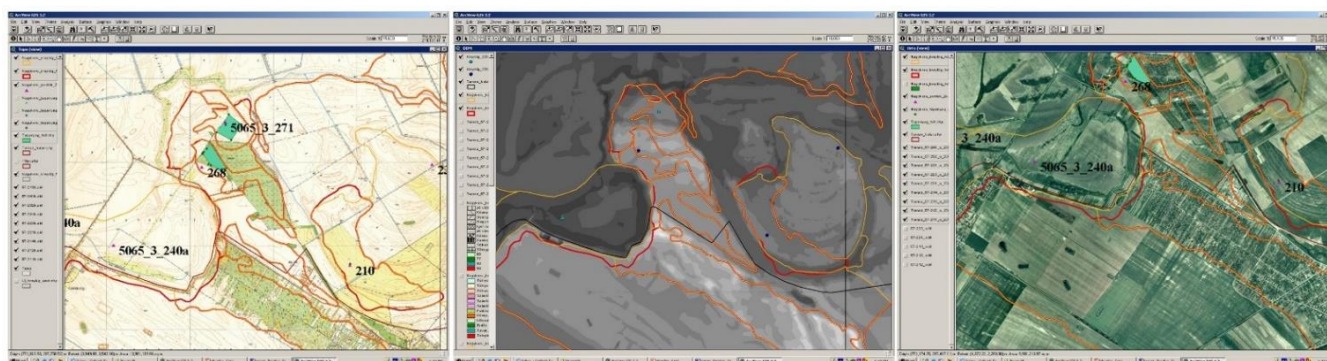
figyelembevételével. Az országban számos mintaterületen végeztük el a digitális reambuláció ezen lépését, melyhez a CORINE felszínborítási adatbázis különböző időszakokból származó fedvényei (CLC100, CLC50, CLC2000, CLC2006, CLC2012) és ortofotók álltak rendelkezésünkre.

A hagyományos talajfolt térkép a talajokra vonatkozó térbeli predikció tradicionális eszköze. A digitális talajfoltképezés célja ugyan pontosan a hagyományos módszernél pontosabb térbeli becslést nyújtó, matematikailag megalapozott eljárások kidolgozása, a klasszikus megközelítésnek mindazonáltal még van mozgástere, a felhasználók jelentős része számára ugyanis ez nyújtja a legkönnyebben interpretálható eredményeket. A digitálisan feldolgozott archív talajfolt térképek pontossága (geometriai és tematikus felbontás) többféleképpen növelhető: a folthatárok mind pontosabb megrajzolásával; a talajfoltok térbeli finomításával, azaz minél kisebb inhomogenitások figyelembevételével; illetve a foltokra jellemző adatok pontosításával (pontosabb mérés, aktuálisabb információ, korszerűbb módszertan, illetve osztályozás etc.).

### 2.2.1 A talajfoltok aktualizálása

A folthatárok a felvételezés során jöttek létre, a felvételező talajtani tudása, terepi gyakorlata és adott helyi ismerete, valamint az egész térképezési munka viszonyai (célok, eszközök, lehetőségek) integrálódtak meghúzásában és persze nem hanyagolható el a térképi alap (topográfiai háttér térkép) szerepe, amelyen a talajfolt térképi objektumként megjelenik. A papír alapú talajfoltképek digitalizálásával és megfelelő téradat rendszerbe illesztésével, valamint a térképezési ismeretek szem előtt tartásával mód nyílik a folthatárok finomítására, pontosítására.

A DKTIR aktuális téradat infrastruktúrába illesztésével nemcsak a földhasználati viszonyok változása, hanem egyes talajfoltképi egységek mai viszonyoknak nem megfelelő reprezentációja is nyilvánvalóvá vált. A Kreybig térképezés jellemzően a III. Katonai felmérés topográfiai alaptérképeit használta a felvételezés során és később a talajfoltok lehatárolására. A felmérés még a Kreybig térképezést is jóval megelőzve, a XIX. század második felében zajlott, azaz annak az időszaknak a topográfiai viszonyait jeleníti meg, az arra a térképezésre jellemző topográfiai reprezentációban. A rákövetkező évszázad jelentős változásokat hozott mind a földfelszíni viszonyokban, mind azok topográfiai térképi leírásában (megjelenített elemek, azok ábrázolása, felbontás, pontosság etc.). A talajfoltok lehatárolásában a szerkesztő kezét az alaptérkép topográfiai elemei vezették, a tájban felfedezett talaj-táj modelleket ezek segítségével formalizálta. A topográfia mellett azonban annak reprezentációja is sokat változott napjainkra. A jelenleg rendelkezésre álló térinformatikai adatok alapján még a Kreybig térképezési elvek megtartásával is más formában jelennének meg a lehatárolás objektumai. Az eredeti Kreybig talajfoltok gyakran követnek az aktuális domborzatban, földhasználatban, topográfiában is szembetűnő mintázatokat, azoktól azonban kisebb-nagyobb eltéréseket mutatva. Mindez lehetőséget biztosít a talajfolt határok aktualizálására, pontosítására, a Kreybig térképezés talaj-táj modelljeinek a jelen téradat infrastruktúrába történő implementálásával. A 2.6 ábrán három példát mutatok a digitalizált Kreybig talajfoltok és topográfiára vonatkozó különböző, aktuális térbeli információk (1:10.000-es topográfiai térkép, digitális domborzatmodell, ortofotó) közti eltérésekre.



2.6. ábra Példák a digitalizált Kreybig talajfoltok és a topográfiára vonatkozó különböző, aktuális térbeli információk (a. 1:10.000-es topográfiai térkép, b. digitális domborzatmodell, c. ortofotó) közti eltérésekre.

### 2.2.2 A talajfoltok térbeli finomítása

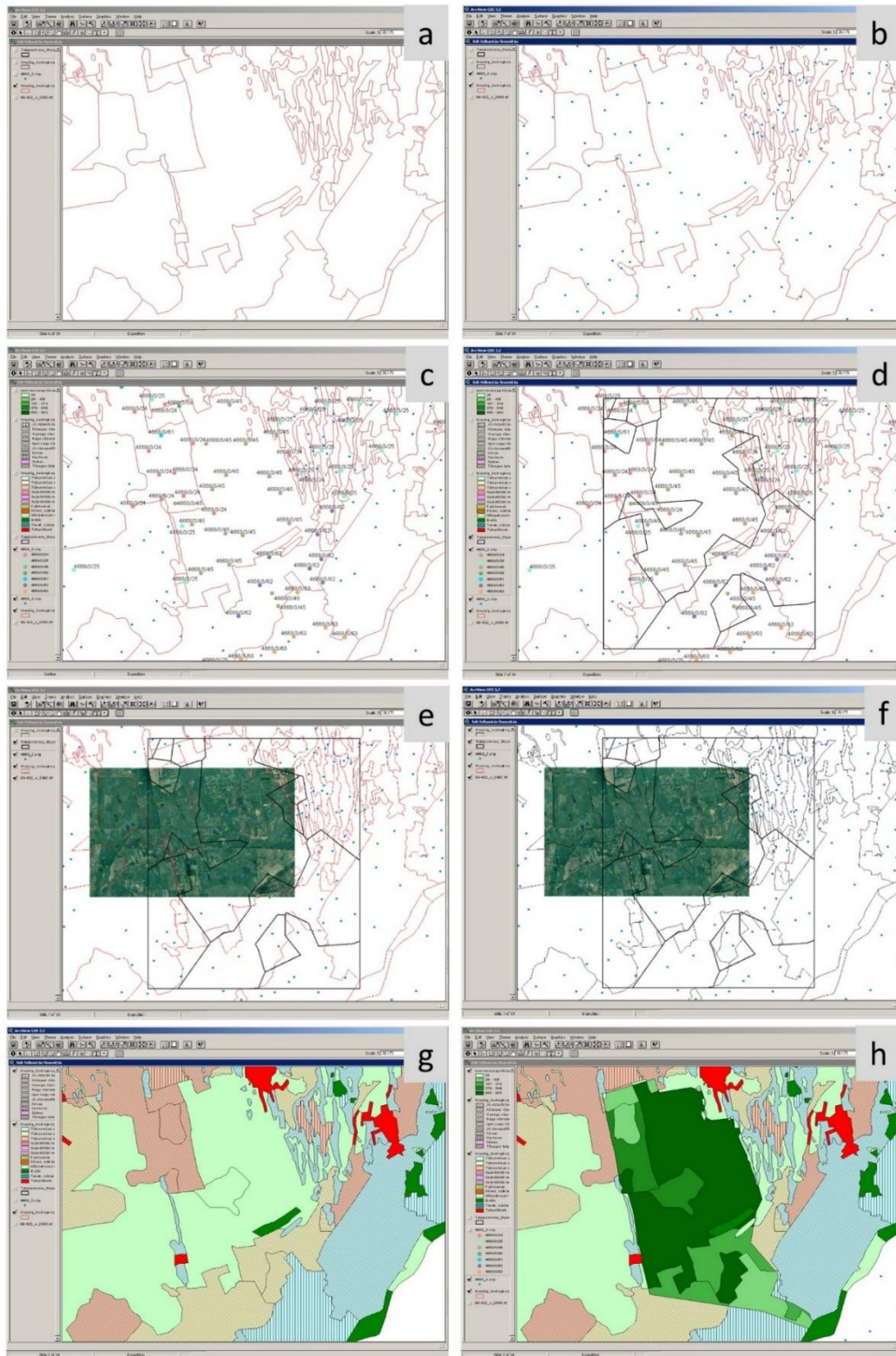
A talajfoltok méretében az ábrázolhatósági határt a felvételezés léptéke határozta meg, az adott méretarányban nem kartografálható, talajtani inhomogén területeket nem határolták el<sup>4</sup>. Egy megfelelően kialakított térbeli talajinformációs rendszerben azonban átléphetők a klasszikus kartográfiai korlátok. Hasonlóan a már létező

<sup>4</sup> A feldolgozás során gyűjtött tapasztalatok alapján időnként jóval az elméleti korlátok fölött állt meg a lehatárolás, azaz a felvételi adatok alapján értelmes és érdemes lett volna egyes talajfoltokat heterogenitásuk alapján tovább finomítani.



dc\_1576\_18

folthatárok finomításához, foltosztó határok is megrajzolhatók, amennyiben valamilyen forrás a folton belül talajtani heterogenitásra utal. Márpedig a nem reprezentatív talajszelvények felvétele, megjelenítése pont ezt jelzi.



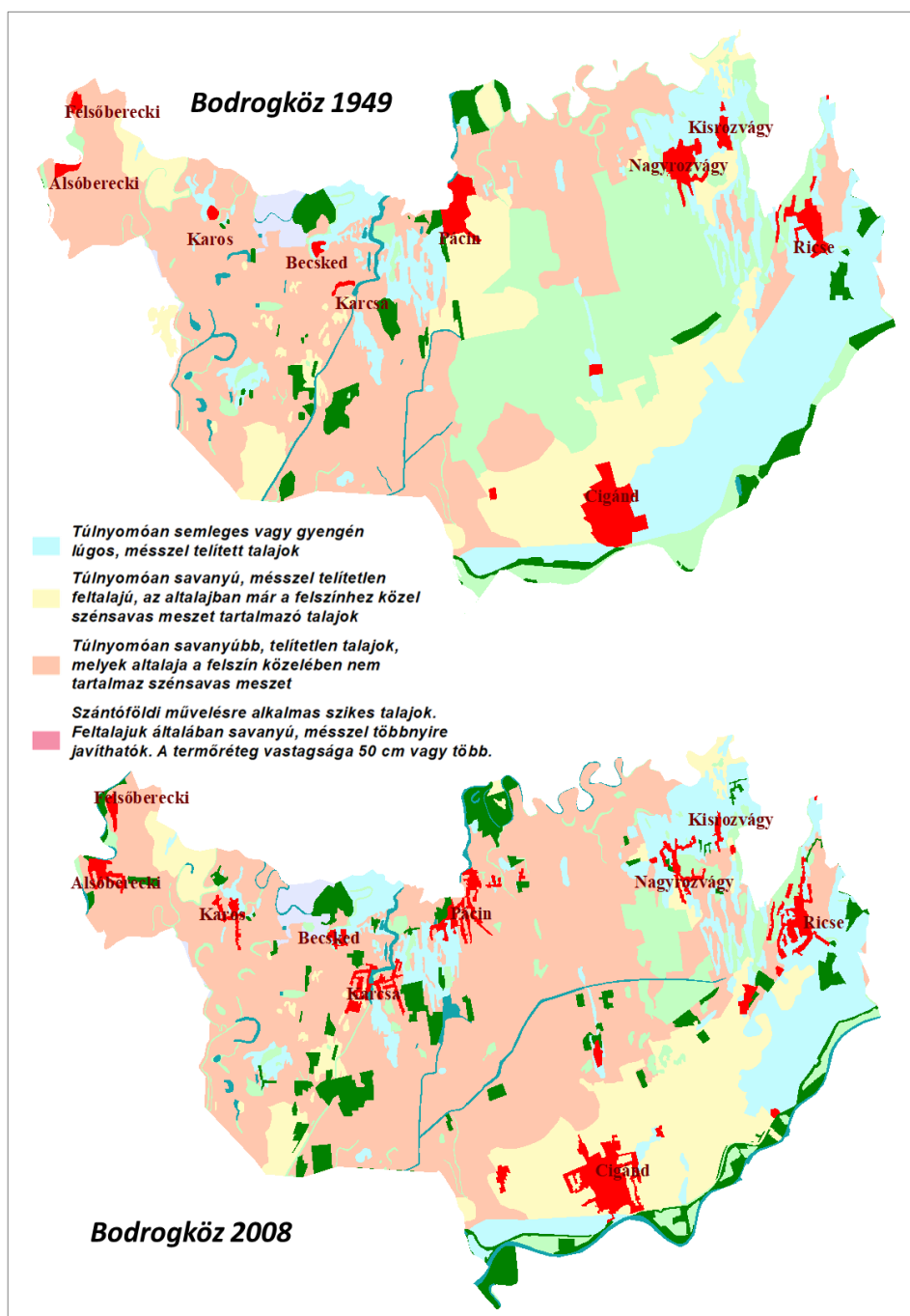
2.7. ábra Egy talajfolt térbeli felbontásának lépései. a) talajfoltok; b) talajfoltok és talajszelvények; c) a talajszelvények típusai kódolásukkal; d) az azonos kódolású talajszelvények területi összekapcsolása; e) térbeli segédinformáció (ortofotó) bekapcsolása; f) a nyers lehatárolás interpretálása az ortofotó alapján; g) a megújult folt struktúra az új lehatárolással; h) az új folthoz rendelt reprezentatív szelvény attribútuma alapján elkülönülő új folt.

A Kreybig térképezés reprezentatív és nem-representatív talajszelvényeket használt a folton belüli, nem-térképezett talaj heterogenitás jelzésére. A DKTIR-ben azonban bizonyos fokig meghaladhatóvá váltak a klasszikus kartográfiai korlátok a nem-representatív talajszelvények helyére vonatkozó ismeret és megfelelő kiegészítő, térbeli, környezeti információk (digitális domborzat modell, ortofotók etc.) felhasználása révén. A foltra nem jellemző pontok helye jelzi a lokális heterogenitást, amely gyakran azonosítható a (mikro)domborzatban, földhasználatban, topográfiában vagy egyszerűen szemmel is azonosítható és ennek alapján vizuálisan

interpretálható egy részletes felbontású légifelvételen. Ezen segédletek alapján foltosztó határok rajzolhatók, amelyek apróbb, homogénebb egységekre bontják az eredeti térképi lehatárolásokat. A szülő foltban még nem jellemzőként számon tartott talajszelvény az újonnan létrejött folt reprezentatív szelvényévé lép elő. Ezen eljárás révén mind a térbeli felbontás finomodik, mind a teljes rendszer pontossága és megbízhatósága nő. A 2.7 ábra egy bodrogközi mintaterületen végrehajtott talajfolt felbontás lépéseit mutatja be.

### 2.2.3 A talajtani információk terepi aktualizálása

A terepi verifikációs, korrelációs vizsgálatok, esetlegesen célirányosan kivitelezett mintavételezéssel kiegészítve, illetve ezek tapasztalatainak és eredményeinek a rendszerbe történő illesztése jelentősen növeli a DKTIR megbízhatóságát. Ezt a harmadlagos (szó szerinti) reambulációt terepbejárással, illetve referenciaszelvények felkeresésével és mintázásával hajtjuk végre, amihez a terepi térinformatika eszköztára biztosít háttérrel, melyek könnyen kivitelezhetővé teszik mind a navigációs, mind az adatgyűjtési feladatokat. A referencia szelvények, illetve előre kijelölt mintavételi helyek felkereshetők, a valós időben rendelkezésre álló térbeli adatok és a terepi valóság egybevetésével revideálhatók, áthelyezhetők. Szintén ezen információk adnak lehetőséget a térbeli kiterjeszthetőség vizsgálatára, egyben a térbeli alapadatok reambulálására.



2.8. ábra Bodrogközi mintaterület Kreybig-féle kémiai tulajdonság térképe a (i) DKTIR reambuláció előtti, illetve a (ii) DKTIR aktualizált adatai alapján.

A terepi reambuláció lépései a következők:

- Az eredeti térképezés során megmintázott reprezentatív talajszelvények beazonosítása, földrajzi helyüknek topológiai is helyes meghatározása a felvételezésről rendelkezésre álló eredeti és a felkeresendő hely jelenlegi állapotára vonatkozó aktuális információk figyelembevételével.
- Terepi térinformatikával segített navigáció a felkeresendő szelvényhez.
- A hely felkereshetőségének ellenőrzése, esetlegesen új szelvény helyének kijelölése.
- A reprezentativitás meghatározása, esetlegesen új szelvény helyének kijelölése.
- Annak megállapítása, hogy a felkeresett hely elfogadható-e új Kreybig talajszelvényként kisszelvény, vagy fúrás alapján, esetlegesen új szelvény helyének kijelölése.
- Részletes talajmintavétel diagnosztikai szintenként.

A hagyományos talajtani tudás, a DKTIR és a terepi térinformatika integrálása a mintavételt célirányossá teszi és így a terepi munka gyorsá, hatékonyá, következképpen gazdaságossá tehető. Viszonylag nagyobb területek (újra) felvételezhetők és jellemezhetők az aktualizált talajtulajdonságokkal, amelyeket az újra felkeresett vagy áthelyezett reprezentatív talajszelvényekben határoztunk meg, melyek reprezentativitását a DKTIR alapján a terepen igazoltuk. Másrészt, amennyiben egy részletes talajfelvételezésre kerül sor egy adott területen (függetlenül a DKTIR lététől, és nem feltétlenül annak aktualizálása céljából), annak eredményei is integrálhatók, amennyiben a gyűjtött adatok tematikusan kompatibilisek a DKTIR-rel.

A reambulációs munkálatok végeredménye a Kreybig-elvek és Kreybig-féle tematika szerinti, az eredeti adatrendszer kiaknázó, az aktuális adatokat figyelembevevő folttérkép. Erre mutat példát a 2.8 ábra, amely egyszerre mutatja be ugyanazon bodroglői mintaterület talajtakarójának reambuláció előtti és az azt követő térbeli leképezését.

A Kreybig reambuláció további részleteiről és eredményeiről beszámoltunk több munkánkban is (Szabó et al. 2008, 2011; Pásztor et al. 2006a,b, 2008; Bakacsi et al. 2012b), a jelen dolgozatban azonban ezekre már nem térünk ki.

### 2.3 A reambulált Kreybig térképek megbízhatóságának térbeli becslése

A hagyományos talajtérképezés a felvételezési adatsűrűséget illesztette az elérni kívánt, a kartográfia felbontás által megszabott és a méretarányval megadott térbeli felbontáshoz és áttételesen ezzel jellemezte a térkép megbízhatóságát. Kvantitatív becslés azonban nem született a térkép sem lokális, sem globális pontosságára.

A digitális éra előtt, amíg a (talaj)térképek papírtérképi mivoltukban jelentek meg és a térkép egyben az adattárolás és adatmegjelenítés szerepét is betöltötte, egyik legfontosabb paramétere méretaránya volt, ami aztán gyakran (elválaszthatatlan) attribútumává vált. Így ragadt a Kreybig térképeken is az azok alapját, háttérét adó 1:25.000-es méretarányú topográfiai térképek léptéke -sokak számára elhagyhatatlan- jelzőként.

Az analóg térképek esetében az adatmegjelenítés méretaránya azonos az adattárolás „méretarányával” és a térkép az ábrázolandó tárgy, vagy jelenség adott méretarányban értelmezett térbeli viszonyainak megjelenítésén túl annak tulajdonságairól a méretaránytól függő pontosság mellett nyújt tájékoztatást (Szabó 2002a; Mélykúti 2010). A méretarány tehát, megszabva a térképi ábrázolás határait, egyben a térkép pontosságának/ megbízhatóságának is bizonyos fokmérője volt, azaz a térbeli felbontásának, információtartalmának (információsűrűségének, információszolgáltató képességének). A digitális térképeknél a megjelenítési/ nyomtatási, illetve az adattárolási lehetőségek megváltozásával ezek a fogalmak elváltak egymástól (Kresse & Danko 2011), ezért nem is igen van helye egy térinformatikai rendszer kapcsán a (hagyományos értelemben vett) méretarány kifejezésnek. Használatát mégis több minden magyarázza. Egyrészt az a tény, hogy számos térinformatikai rendszer adott térkép(sorozat) feldolgozásával indul és nyers változatában annak csupán digitális változata, így átruházható arra az eredeti minden jellemzője. Másrészt a felhasználók számára a zökkenőmentesebb átmenet az analóg és digitális térképi környezet között arra sarkall, hogy a jól megszokott kifejezések legalább ideiglenesen megmaradjanak. Harmadrészt tekinthetünk a klasszikus térképi méretarányra, mint az információtartalom egy indikátorára, amely fogalomnak a digitális környezetben viszont jelentős szerepe van; számszerűsítve pedig, még ha áttételen keresztül is, összehasonlíthatóvá teszi a különböző rendszereket.

A kérdéskört tovább bonyolítja, hogy a Kreybig talajtérképek háttérét adó topográfiai térképek és a tematikus tartalmat jelentő talajtani adatok térbeli felbontása nem azonos. A Kreybig archívum alapos ismerete alapján kijelenthető, hogy a megjelenített, tematikus, talajtani információ térbeli felbontása a térképlapok többségén alatta marad az 1:25.000-es alap nyújtotta, lehetséges mértéknek. Ezért magam is használom indikátor jelzőként az 1:50.000-es számot (Pásztor et al. 2006a; Pásztor et al. 2012). Egyrészt azonban, mivel ennek köztudatba és főképp használatba való átvitele a hagyományok miatt igen nehézkesnek tűnik, a számértéket tartalmazó jelzőnél szívesebben használjuk (és javasoljuk használni) a léptéket jól kifejező átnézeti jelzőt. Másrészt a reambulációs munkák egyik legfőbb célja, hogy az eredeti felvételezésből származó, a szerkesztett térképeken azonban



föltzintén meg nem jelenő információk segítségével a DKTIR térbeli felbontását (pontosságát/megbízhatóságát) növelve közelítsük a nominális 1:25.000-es értéket.

A felvételezési adatsűrűség becslésére és valós heterogenitásának ellenőrzésére végeztünk egy kis felmérést azzal kapcsolatban, hány pontadatot használtak a felvételezők egy-egy térképlap szerkesztéséhez (2.1 táblázat). Megpróbáltunk úgy válogatni a térképszelvények között, hogy mind az általuk lefedett terület földrajzi viszonyait, mind felvételezési körülményeit (szerző, időpont) tekintve reprezentálják azok sokszínűségét.

Térkép-szelvény száma	Felvételező neve	Felvételezés időpontja	Kr0 pont (helyszíni leírás, mintavétel és labor vizsgálat)	Kr1 pont (helyszíni leírás)	Kr2 pont (térképező pont)	Összes pont (a terepi térképlapon szereplő összes pont)
4861/3	Aldobolyi Nagy Miklós	1941	58	328	3	331
5365/1	Buday György	1938	40	45	654	699
4867/3	Ébényi Gyula	1933	72	141	411	552
4967/1	Ébényi Gyula	1933	56	128	327	455
4967/3	Ébényi Gyula	1934	42	171	111	282
5167/3	Ébényi Gyula	1934	71	87	1741	1828
4867/1	Ébényi Gyula	1936	70	153	368	521
4867/4	Ébényi Gyula	1936	36	130	265	395
4667/4	Ébényi Gyula	1939	76	205	262	467
4866/3	Endrédy Endre	1933-1934	96	177	157	334
4866/1	Endrédy Endre	1933	74	125	510	635
5365/3	Han Ferenc	1938	41	62	1019	1081
4769/2	Han Ferenc	1939	48	48	1343	1391
5161/3	Han Ferenc	1947	58	64	802	866
5160/2	Han Ferenc	1949	51	62	318	380
4768/1	Kléh György	1950	82	152	174	326
5258/3	Kovács Győző	1950	90	96	585	681
4966/1	Kreybig Lajos	1932-1934	69	122	229	351
4866/2	Kreybig Lajos	1934	40	118	1522	1640
4866/4	Kreybig Lajos	1934	41	96	1272	1368
4769/4	Sédi Károly	1949	56	65	211	276
4965/4	Sík Károly	1934	79	122	495	617
5260/4	Sík Károly	1941	27	39	573	612
5360/2	Sík Károly	1941	31	43	443	486
5263/1	Sík Károly	1942	54	73	516	589
4861/1	Szücs László	1941	40	274	163	437
5366/2	Teőreök László	1938	92	159	706	865
4963/3	Teőreök László	1939	85	104	510	614
4963/2	Teőreök László	1940	102	134	669	803
5158/2	Veress Lajos	1950	116	113	124	237
5265/1	Witkowsky Endre	1937	46	46	435	481
4666/4	Witkowsky Endre	1939	53	51	323	374
4766/2	Witkowsky Endre	1939	60	56	525	581

2.1. táblázat A Kreybig térképezés során felvett egyes térképlapok felvételezési paraméterei.

Legszigorúbban akkor járunk el, ha kizárólag az ún. Kr0 pontokat (helyszíni leírás, mintavétel és labor vizsgálat) fogadjuk el hiteles adatforrásként; a térképszelvényen egyenletesen elhelyezkedő, azaz szabályos mintavétel esetén 200 és 1000 ha közötti értékek adódnának (átlagosan 400 ha). Amennyiben a részletes laboratóriumi vizsgálatokat nem tekintjük elengedhetetlen kritériumnak, azaz a Kr1 pontok (csak helyszíni leírás) alapján, akkor 75, illetve 650 ha-ra változnak a fenti értékek (átlagosan 215 ha). Amennyiben a Kr2, (térképező) pontokat is teljes értékű adatforrásnak vennénk, akkor pedig 15, illetve 100 ha (átlagosan 40 ha) adódna.

Természetesen nem tekintjük az összes pontbeli adatot egyenértékűnek, hiszen más annak az adatnak a megbízhatósága, amely egy teljesen leírt és megmintázott talajszelvény alapján áll elő („hard data”), mint a térképezést segítő fúrólyuk alapján átvitt pontból vetté („soft data”). Nem szabad azonban alábecsülni ezen utóbbiak jelentőségét sem.

Egy mintavételezés nem ad feltétlenül pontosabb leírást a vizsgált területről, ha arról egyenletes mintasűrűséggel megállapítja, hogy vannak homogén(nek tekinthető) egységei. Ha egyéb forrás alapján tisztában van a felvételező a terület mintázatával, akkor hasonló pontosságú/megbízhatóságú térkép előállítására kevesebb minta(vétel) alapján is képes (lásd pl. Kertész & Tóth 1994; Csillag & al. 1996; Szatmári et al. 2015, 2018), ami azt jelenti, hogy az egy mintával jellemzett terület nagysága nem feltétlenül az eredmény térkép térbeli felbontásának mértéke (legfeljebb azzal erősen korrelál).

Márpedig a Kreybig térképezés egyik sajátossága a térképszelvény által definiált terület igen alapos ismerete, a másik pedig annak átnézetes volta, ami egyben annak költséghatékony kivitelezését követelte meg. Nem a minták maximalizálása volt a cél, hanem a talajtakaró hatékony és célirányos jellemzése. A területismeret pedig egyrészt a mintavétel hatékony megtervezését, másrészt a területre jellemző talajtulajdonságok alapos megismerését, ennek alapján megbízható továbbvitelét tette lehetővé. A Kreybig térképezés térbeli felbontásának mind teljesebb megismerése, a felvételezésből nyert információk hatékonyabb kiaknázása és ezek alapján a DKTIR pontosságának és megbízhatóságának térbeli becslése, valamint esetleges javítása kiemelt jelentőséggel bírt munkálataink során.

Kiépítésének különböző szintjein a DKTIR eltérő megbízhatóságú talajtani adatok szolgáltatására képes. A többszintűségnek ez a fajta megnyilvánulása megőrizhető és akár hasznosítható is. Az alacsonyabb feldolgozottsági szintű és ezért egyben kevésbé is pontos(ított) adatokat gyorsabban lehet előállítani és rendelkezésre bocsájtani. Időnként azonban az idő faktor sokkal fontosabb szerepet játszik, mint a térbeli és/vagy tematikus pontosság. Kisebb léptéket igénylő alkalmazások számára is elegendő a nyersebb adat, aminek használata egyben gazdaságosabb is. A DKTIR mind magasabb szintű kiépítése azt a lehetőséget is magában hordozza, hogy a megbízhatóbb információkat biztosító szint segítségével megbecsüljük a „durvább” szintek által szolgáltatott adatok pontosságát.

A talajfoltokra vonatkoztatott, a térbeli és tematikus pontosítás, finomítás, aktualizálás különböző szintjein rendelkezésre álló információk relatív térbeli megbízhatóságának becslésére indikátorfüggvényt vezettünk be.

A terepi reambuláció során egy foltban jellemzően egy szelvény feltárását végeztünk, amennyiben mintázásra került sor. A néhány kivétel annak meghatározására irányult, hogy a pontokra vonatkozó adatok továbbvitele mennyire megalapozott, a többszörös mintavétel mennyire igazolja az adott folt homogenitását, pontosabban a folton belüli talajheterogenitás mértéke olyan korlátok között marad-e, ami nem teszi szükségessé az adott folt bontását. Ilyenkor a többszörös, aktuális felvételezésből meghatározott értékek átlagaival jellemeztük a foltokat a szórás csökkentése érdekében. Azon foltok tematikus adatait, amelyek több, folton belüli friss mintából származnak 1. rendű megbízhatóságúnak soroltuk be.

Azon talajfoltokat, amelyekben egyszeres mintavételezés történt az új felvételezés során, ezen új adatokkal jellemeztük és 2. rendű megbízhatósági besorolást kaptak.

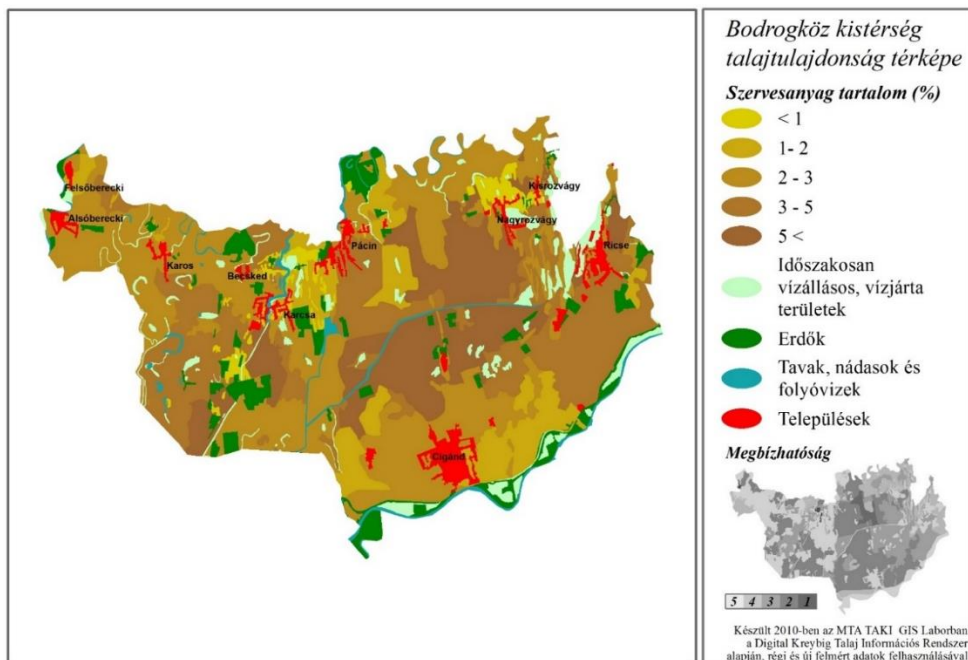
Azon foltok, amelyeket az eredeti felvételezés során olyan talajszelvényekkel reprezentáltak, amelyet egy olyan foltban vettek fel, melyben új mintavételezés történt az új felvételezés során, szintén ezen új adatokkal jellemeztük, a talajtulajdonságok átvitelének szabálya alapján. Maguk a foltok 3. rendű megbízhatósági besorolást kaptak.

Azon foltok, amelyeket az eredeti felvételezés során olyan talajszelvényekkel reprezentáltak, melyre vonatkozóan új mintavételezés nem történt az új felvételezés során, az eredeti adatokkal jellemeztük és 4. rendű megbízhatóságúnak tekintettük.

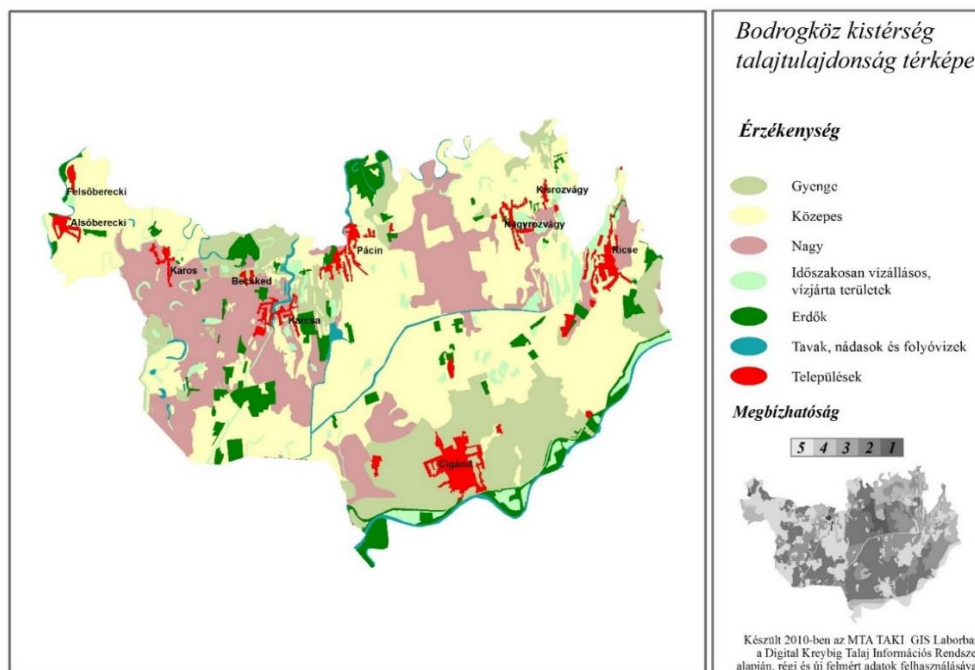
Az utóbbi foltok között azonban esetenként előfordult, hogy bizonyos talajparaméterre vonatkozóan hiányos az adatbázis (az eredeti felvételezés adatainak hiányosságai miatt). Ezen térképi objektumok területére térbeli származtatással próbáltunk becslést adni az adott talajtulajdonságra vonatkozóan. A többi pont alapján, melyekben az adott talajtulajdonságra vonatkozóan rendelkezünk adattal (ezek között a régi és az új felvételezés talaj mintavételi helyeit együttesen használtuk), (univerzális) krigelési eljárással interpoláltunk a hiányos paraméterű foltok területére vonatkozóan. Az általa lefedett területre vonatkozó interpolált adatokból átlagoltuk ki a hozzárendelendő értéket. Ezen foltok 5. rendű megbízhatóságú besorolást kaptak az adott talajtulajdonságot bemutató tematikus térkép megbízhatóságára vonatkozóan.

A fentebb bemutatott megbízhatósági indikátorfüggvény segítségével először állítottunk elő olyan Kreybig alapokon nyugvó tematikus talajtérképeket, amelyek a tematika mellett, annak térbeli megbízhatóságára vonatkozó becslést is megjelenítették, ezzel segítve a térkép olvasóit, információjának felhasználóit a térkép térbeli bizonytalanságának felismerésében és értelmezésében (2.9 ábra).

Az alap Kreybig-féle tematikákon (kémiai, illetve fizikai tulajdonságok) és a felvételezési adatokból származó további talaj jellemzőkön (szervesanyag-tartalom, pH) túl, néhány alapvető talajfunkció tematikus modellezésének az eredményeit is regionalizáltuk a reambulált térképek foltállományához rendelve ezek értékeit. Az így született térképeket a fenti elvek szerint szintén elláttuk a megbízhatóságukra vonatkozó térbeli információval (2.10 ábra).



2.9. ábra Bodroghözi mintaterületre szerkesztett szervesanyag térkép a térbeli megbízhatóságára vonatkozó becslés feltüntetésével.



2.10. ábra Bodroghözi mintaterületre szerkesztett mezőgazdasági alkalmasság térkép a térbeli megbízhatóságára vonatkozó becslés feltüntetésével.

## 2.4 A DKTIR kategória típusú pontadatainak indikátor krigelésen alapuló térbeli kiterjesztése

A DKTIR az előbbieken bemutatott országos kiépítésével egyidőben, másrésről épp azt felgyorsítandó néhány olyan térbeli adatigény merült fel, amelyeket nem lehetett közvetlenül sem az eredeti, sem a reambulált térképi adatok segítségével kielégíteni. Megindult az útkeresés, hogy a DKTIR adatainak megfelelő térbeli és tematikus származtatásával, az eredeti felvételi anyag információtartalmának célspecifikus kiaknázásával miként lehetne a feltett kérdésekre választ adni.

Annak érdekében, hogy jobban érthetővé váljon, miért is a DKTIR-ban kerestük a megfelelő kiindulási adatforrást, röviden összefoglalom a feldolgozás eredményeképpen rendelkezésre álló adatrendszer legfontosabb ismérveit. A Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer a térbeli felbontásában legrészletesebb hazai talajtani adatállomány, amely egyben teljes országos fedettséget is biztosít. Térinformatikailag két jól elkülönülő részből tevődik össze. A talajfolt geometriai adatbázis mintegy 100.000 térképi elemet, a talajszelvény adatbázis pedig mintegy 250.000 talajvizsgálati helyszínt tartalmaz. A talajfoltokat néhány komplex talajfizikai és talajkémiai kategória jellemzi, részletesebb leírás a talajszelvényekre áll rendelkezésre. A mintegy 22.000 reprezentatív

talajszelvény leírás adatai egyrészt a reprezentativitás elve alapján a talajfoltokhoz rendelhetők, másrészt a térképezés során alkalmazott módszertan alapján további beazonosított helyekre is érvényesnek tekinthetők. Ezen speciális (ún. puha) adatok rendelkezésre állása jelentősen támogatja a szelvény szintű adatok talajfoltokhoz rendelésén túli térbeli kiterjesztésének lehetőségeit. Mindemellett a Kreybig archívumnak és az abból felépített DKTIR-nek van néhány olyan jellemzője, ami a benne tárolt adatok regionalizálása kapcsán kihívás elé állítja a térképezőt.

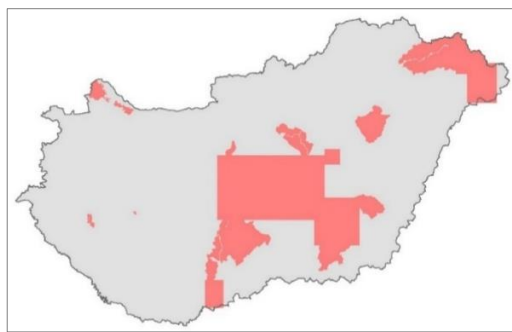
- A szelvény sűrűség regionális szinten igen jó térbeli felbontást biztosít, a jelenleg rendelkezésre álló adatok térbeli eloszlása ellenben meglehetősen inhomogén (lásd 2.1 táblázat). Ennek kialakulásában több szempont is szerepet játszott, kezdve a koncepció, a felvételezés menetén át a feldolgozásig.
- A gyűjtött és tárolt talajtani paraméterek jelentős része nem numerikus, hanem kategória jellegű; az adatmezők feltöltöttsége pedig, sajnos, gyakran hiányos.
- A felvételezés során alkalmazott egyes laboratóriumi módszerek nem tekinthetők elég korszerűnek. A belőlük származó adatok használhatóságán megfelelő kalibrációval, illetve pedotranszferek segítségével lehet javítani.
- Mind az adatpótlás mind a kalibráció/konverzió gyakorta csak kategóriaváltozók segítségével oldható meg eredményesen, illetve megfelelő megbízhatósággal.
- Számos alkalmazás adatigényeigénye megalapozottabban elégíthető ki nem numerikus jellegű adatokkal. Ilyen például a WRB (World Reference Base) korreláció során elvégzendő harmonizáció és konverzió. Ennek eredményei illetve annak valószínűségi jellege is a térbeli kiterjesztés specifikus módszereinek alkalmazását igényli.

A fenti jellemzőkkel rendelkező adatrendszer kategória jellegű adatainak térbeli kiterjesztésére kerestem megoldást a (i) háromfázisú, telítetlen zóna talajfizikai jellemzéséhez, (ii) természeti hátrányokat definiáló kritériumok térbeli érvényességének meghatározásához, illetve (iii) élőhely osztályok előfordulásának becslésére. Hatékony megoldást sikerült találni a valószínűségi becslést szolgáltató speciális geostatistikai interpolációs módszerben, az indikátor krigelésben (IK). Az IK általános eljárás különböző kategória jellemzők, mint közzétípusok, talajosztályok előfordulásának feltételes valószínűségi becslésére (Bierkens & Burrough 1993). Az eljárás a referencia pontok körül valószínűségi eloszlás becslést végez a térbeli korrelációs struktúra alapján (Journel 1983), azaz az indikátor krigelés, egy olyan nem-paraméteres, geostatistikai interpolációs eljárás, amelynek eredménye az interpolációs tér pontjaiban az indikátor érték bekövetkezési valószínűsége (Isaaks & Srivastava 1989; Marinoni 2003). Az IK talaj problémák térképezésében való használhatóságára is találni korábbi példákat. Lark & Ferguson (2004) a talaj tápanyaghiányának, illetve túlzott bőségének veszélyét, Diodato & Ceccarelli (2004) pedig mezőgazdasági területek talajdegradációját térképezte segítségével. Nem csupán bináris, hanem általában tetszőleges kategóriaváltozók regionalizálására hatékonyan használható módszer. Ilyenkor kategóriánként szükséges az indikátor krigelési eljárás elvégzése; a végeredmény pedig az egyes kategóriákra kapott eredmények közül maximum likelihood döntéssel származtatható. Mindezen tulajdonságai folytán a fent felsorolt esetekben a talajszelvényekre elérhető vagy származtatott információk térbeli kiterjesztésének ideális eszköze.

Az alábbiakban dióhéjban bemutatom a három alkalmazást, melyben - különböző cél elérése érdekében ugyan - indikátor krigelést használtunk a DKTIR talajszelvény adatbázis által szolgáltatott bizonyos adatok térbeli kiterjesztésére.

#### **2.4.1 Háromdimenziós talaj textúra adatbázis kialakítása**

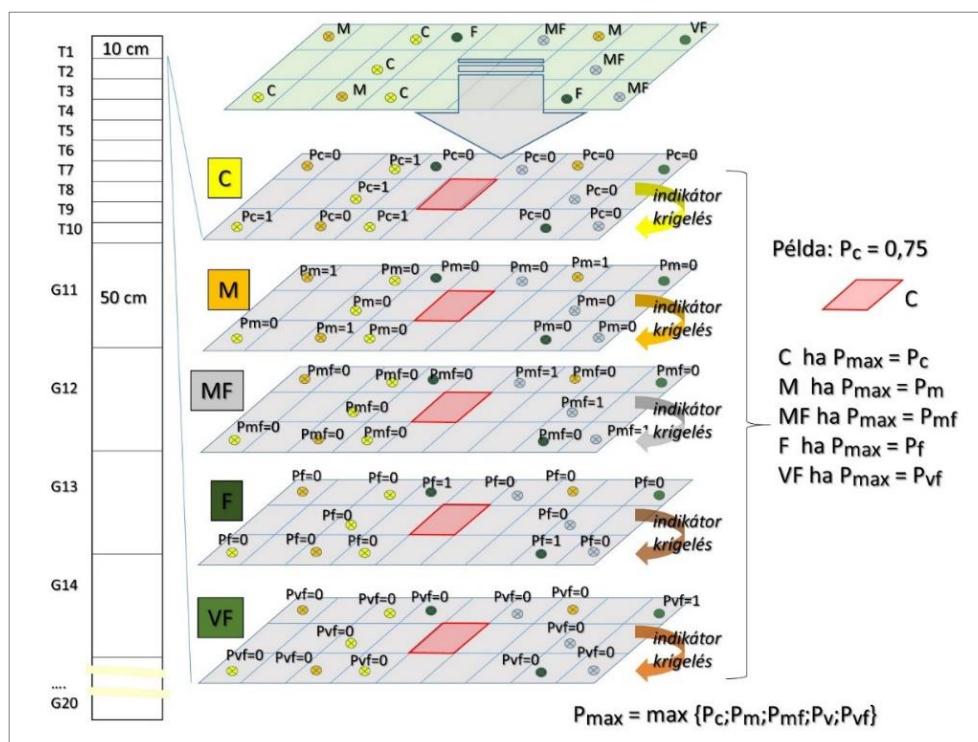
A többek közt szélsőséges területi vízkészlet kockázatok elemzéséhez és térképezéséhez használt, ún. osztott paraméteres hidrológiai modellek (Spanoudaki et al. 2009; Daniel 2011; Kozma & Koncsos 2011) működtetéséhez szükséges a háromfázisú telítetlen zóna hidrofizikai tulajdonságainak részletes, területi kiterjesztésű, háromdimenziós leírása. A felszínközeli rétegek részletes jellemzésére általában talajtani, míg a mélyebb rétegek leírására agrogeológiai adatok állnak rendelkezésre. A különböző forrásból származó információk jelentősen különbözhetnek, az egyedi adatbázisok viszont magukban nem feltétlenül képesek kielégíteni a modellezés követelményeit (Walvoort et al. 2011). Szükséges tehát az egyes (rész)adatbázisok megfelelő integrálása az eltérő forrásból származó adatok harmonizálásával, rétegenkénti illesztésével és térbeli kiterjesztésével (He Y. et al, 2010).



2.11. ábra A 3D talaj-hidrofizikai adatbázis építés mintaterületei.

Modellezési mintaterületekre (2.11 ábra) a DKTIR és a MÁFI (jelenleg MBFSZ; Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat) Sekélyfúrási Adatbázis adatainak felhasználásával (tematikus harmonizációjával, térbeli illesztésével és kiterjesztésével) több lépcsőben és közelítéssel építettünk 3D talaj-hidrofizikai adatbázisokat (Bakacsi et al 2010, 2012a). A tematikus adatharmonizációt a FAO textúra osztályok alkalmazásával sikerült kivitelezni. Ez volt az a „legnagyobb közös osztóként” alkalmazható tematikus interface, amelyre mind a DKTIR talajfizikai, mind pedig a fúrásokból származó rétegtani leírások eredményeit le lehetett fordítani. A háromfázisú telítetlen zóna leírása egy szabályos, horizontálisan 1 ha-os, vertikálisan a felszínközélen 10 cm-es, 1 méter alatt 50 cm-es réteg felbontásban történt.

A talajtani adatbázis előkészítése az indikátor krigeléshez a következő módon történt. Egy szelvény egy bizonyos mélységtartományát az arra a rétegre érvényes, mért  $h_y$  érték, vagy szemcseösszetétel alapján a megfelelő FAO textúra osztályba soroltuk. Az adott pontban arra a textúra osztályra nézve az indikátor változó értéke 1; míg a többi pontban, melyek más textúra osztályba tartoznak, 0. Ennek megfelelően a mintaterületeken minden rétegre öt bináris referencia pontállomány állt elő. Rétegenként, egyhektáros rács méretre, az öt textúra osztálynak megfelelően ötször végeztünk indikátor krigelést. Ennek eredményeként öt valószínűségi térképet kaptunk, melyek alapján minden egyes rácselemekhez hozzárendeltük a maximális valószínűségű réteg típusát, azaz az ott legnagyobb valószínűséggel ( $P_{max}$ ) megtalálható textúra osztályt. Az eljárás menetét a 2.12 ábra foglalja össze.



2.12. ábra A mélységi rétegenkénti FAO talajtextúra osztályok indikátor krigelésen alapuló térbeli származtatásának menete.

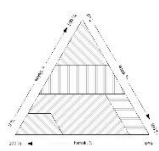
A háromdimenziós hidrofizikai adatbázis fejlesztést több lépcsőben és mintaterületen végeztük el, az általuk lefedett terület összesen 18.579 km<sup>2</sup>. Verifikálás céljából referencia adatbázisként a Talajinformációs és Monitoring Rendszert használtuk (TIM), melyből 99 mintavételi helyszín esik a mintaterületek valamelyikére. Ezen TIM szelvények mért, mélységi adatait vetettük össze az adott helyre származtatott, 3D textúra becslésekkel. Összesen 914 adatként lehetett a validálásra felhasználni (99 szelvényben 10 cm-es rétegenként, nem mindenhol elérve az 1 méteres mélységet).



A kategória típusú becslt és mért adatok összevetésére a teljes pontosságot (Overall Accuracy - OA), illetve Cohen-féle kappát (Overall Kappa) használtuk (Cohen 1960; Rossiter 2004). A mutatók az ún. tévesztési vagy keveredési mátrixból (2.2 táblázat) számítandók ki, amelynek, oszlopai, illetve sorai a vizsgált és a becslt osztályok, cellái pedig ezek darabszámát mutatják meg. A főátlóban helyezkednek el a helyesen kategorizált pontok. A teljes pontosságot az ellenőrzőpontok helyszínein helyesen besorolt pontok és az összes validáló pont darabszámának aránya adja. A kappa index azt mutatja meg, hogy az osztályozott adatok két halmazának különbözősége mennyiben tér el a véletlenszerűtől, azaz a klasszifikációs mátrixban a főátló mennyire dominál. A vizsgált és a becslt osztályok közötti eltéréseket nem egyforma mértékben tekintjük hibásnak, amit korrelációs mátrix súlyozásával vehetünk figyelembe. Az egyes osztályok hasonlóságának, különbözőségének mértékét ún. taxonómiai távolság mátrix-szal (2.3 táblázat) vettük figyelembe. A két mutatószám súlyozott változatát a hasonlósági mátrix segítségével is kiszámítottuk (2.4 táblázat).

		3D				
		durva	finom	közepes	közepesen finom	nagyon finom
TIM	durva	128	6	59	12	1
	finom	15	173	20	3	26
	közepes	53	9	191	4	1
	közepesen finom	14	36	79	34	5
	nagyon finom		21	12		12

2.2. táblázat A mintaterületi 3D textúra osztály becslések tévesztési mátrixa.

	durva	finom	közepes	közepesen finom	nagyon finom
durva	1,0000	0,5177	0,6467	0,3281	0,3404
finom	0,5177	1,0000	0,6650	0,5621	0,7064
közepes	0,6467	0,6650	1,0000	0,6248	0,4810
közepesen finom	0,3281	0,5621	0,6248	1,0000	0,4013
nagyon finom	0,3404	0,7064	0,4810	0,4013	1,0000

2.3. táblázat A FAO textúra osztályok taxonómiai távolság mátrixa.

A teljes pontosság a taxonómiai távolságok figyelembevételével szignifikánsan nőtt, és minden mélységi réteg esetén 80% fölé növekedett. A Cohen-féle kappa index táblázatban szereplő értékei a Landis és Koch (1977) által bevezetett értékelés szerint közepes szintű egyezést mutatnak. Összeségében a validálási eredményekre a 3D adatbázisok megbízhatóságának mértékeként tekintünk.

	OA	Kappa	OA súlyozott	Kappa súlyozott	Validáló adatpárok [db]
0-10 cm	0,617	0,4889	0,851	0,5139	94
10-20 cm	0,6947	0,5726	0,8854	0,5986	95
20-30 cm	0,5618	0,4128	0,8368	0,4627	89
30-40 cm	0,5263	0,3836	0,8148	0,4257	95
40-50 cm	0,6344	0,5144	0,8554	0,5404	93
50-60 cm	0,5714	0,4404	0,8317	0,4847	91
60-70 cm	0,5227	0,3659	0,8091	0,4107	88
70-80 cm	0,5	0,3412	0,7964	0,382	90
80-90 cm	0,6556	0,5328	0,8564	0,5418	90
90-100 cm	0,5955	0,4506	0,8264	0,4558	89
<b>0-100 cm</b>	<b>0,5886</b>	<b>0,4545</b>	<b>0,8367</b>	<b>0,4854</b>	<b>914</b>

2.4. táblázat A mintaterületi 3D textúra osztály becslések validációjának eredménye.

## 2.4.2 Természeti hátrányokkal érintett területek térképezése

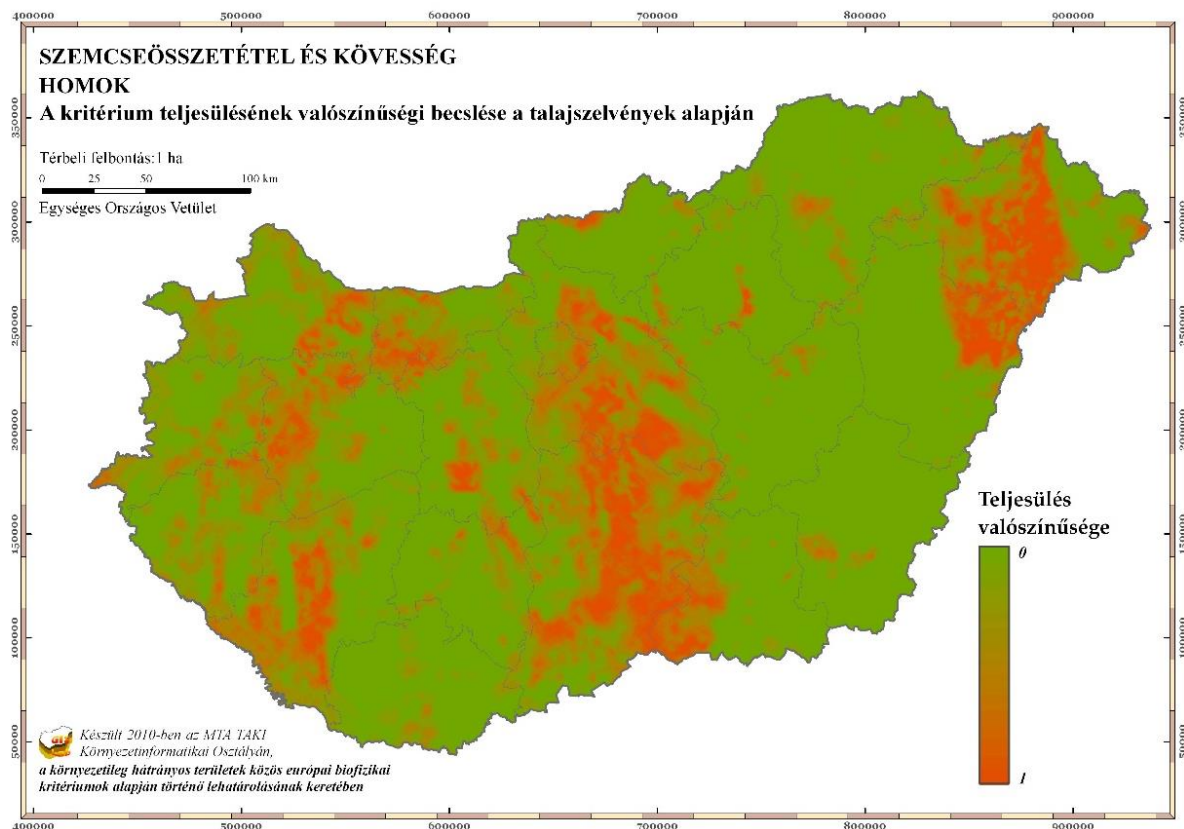
Magyarország kedvezőtlen adottságú mezőgazdasági területeinek megújított meghatározásának első közelítése során (Pásztor et al. 2010b) szintén indikátor krigelést használtunk a DKTIR adatainak regionalizálására. Magát a teljes kérdéskört részletesebben a következő, országos lehatárolási problémákat bemutató fejezetben tárgyalom, itt csupán felvillantom a problémakört és csak az IK-n alapuló megoldási lehetőséget tárgyalom röviden.

A természeti hátránnyal érintett területek (THÉT) lehatárolása az alacsony termőképességű talajokra és kedvezőtlen klimatikus viszonyokra vonatkozó közös biofizikai kritériumok alapján történik az Unió egész területén egységes kritériumrendszer alapján, de tagállami hatáskörben. Ennek elvégzése a feladat első megfogalmazásakor, 2009-ben, megfelelő tematikus és térbeli felbontású, valamint adatstruktúrával rendelkező, országos fedettségű, térbeli talajinformációs rendszer rendelkezésre állását igényelte. Ezt hazánkban potenciálisan az, akkor már részlegesen feldolgozott Kreybig archívum képviselte, mely három alapvető előnnyel bírt bármely más, magyarországi talajokra vonatkozó adatrendszerrel történő összehasonlításban:

- Az alapját képező eredeti térképezés célkitűzései nagyon hasonlatosak a THÉT kijelölés mögötti célrendszerhez (Kreybig 1937; van Orshoven et al. 2008; Eliasson et al. 2010).
- A DKTIR a legrészletesebb, térképi alapú adatrendszer, amely országos fedettséget biztosít.
- Az adatbázis minden, talajjal kapcsolatos THÉT kritériumra vonatkozóan tartalmaz hasznosítható információkat, amelyek (i) tudományosan megalapozott módon lehetőséget nyújtottak a megfelelő tematikus adatszármasztásra, illetve (ii) ezek egész országra történő regionalizálására.

Az egyes korlátozó tényezők térbeli modellezésének lehetőségeire jelentős hatással volt, hogy a regionalizálandó paraméter egy-egy specifikus kritérium teljesülése. A kritériumonkénti végeredmény tehát egy bináris térkép, amely igen-nem kategóriákat tartalmaz. Egy kritérium szigorú teljesülésének becslése azonban számos hibalehetőséggel terhelt. Ennek kezelésére vezettük be a valószínűségi megközelítést, ahol a teljesülés bináris 0-1 értékeit valószínűségi változóként tekintettünk, a regionalizálás során megengedve tetszőleges [0,1] intervallumba eső érték előfordulását.

A módszer alkalmazásához először is egy adott kritérium teljesülését minden egyes talajszelvényben megvizsgáltuk: azon pont, amelyben a THÉT kritérium teljesül, 1-es indikátor értéket kapott, amelyekben nem, az 0-sat. Ezt követően a kritérium teljesítési indikátort interpoláltuk indikátor krigelési eljárással. Ennek eredménye egy-egy kritérium teljesülési valószínűségi térkép, mely az elemzések során általánosan használt 1 ha-os térbeli felbontásban adja meg cellánként az adott THÉT kritérium teljesülésének becsült valószínűségét (2.13 ábra). A THÉT területek indikátor krigelés alapú közelítésére 7 kritérium esetén került sor az ország teljes területére vonatkozóan.



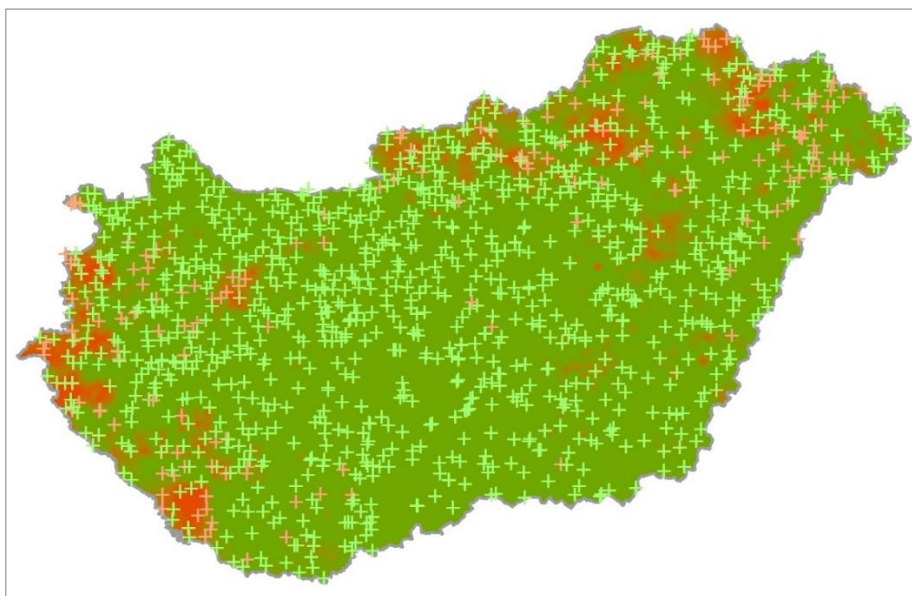
2.13. ábra THÉT kritérium teljesülésére vonatkozó, valószínűségi becslési térkép.

Az eredmények verifikálására kevés lehetőség adódott a térképezendő tulajdonságok egyedi volta és a rájuk vonatkozó referencia adatok hiánya miatt. Egy jól ellenőrizhető kivétel a savasság kritérium teljesülése, melyhez referencia adatbázisként szintén a Talajinformációs és Monitoring Rendszert használtuk. A validálás eredménye a 2.5 táblázatban és a 2.14 ábrán látható.

pH < 5,5		IK becslés	
		nem teljesül	teljesül
TIM	nem teljesül	921	68
	teljesül	101	89

2.5. táblázat A savassági kritérium teljesülési becslés validációjának eredménye.

A validálás legfőbb üzenete, hogy az eredmény térkép jellemzően alulbecsli az erősen savanyú talajok előfordulását, mely effektus földrajzilag is viszonylag jól behatárolhatóan a nyírségi homokokon jelentkezik. A Kreybig térképezés és az első TIM mintavétel közti időszak alatt jellemzően nagyüzemi mezőgazdasági művelés alatt álló területek talajainak általánosan is jellemző savanyodása az eredendően savanyúbb talajok kémhatását tolta a THÉT kritériumok közt megjelölt határérték fölé. A talajok kémhatása egyébként is jóval nagyobb időbeli változékonyságra képes, mint a fizikai jellemzők. A THÉT térképezés újragondolását (amit részletesen 3.1 fejezetben tárgyalok) ezen tapasztalatok is erősítették.



2.14. ábra A savassági kritérium teljesülésének térbeli validációja. Piros és zöld keresztek jelölik a kritériumot teljesítő, illetve nem teljesítő TIM szelvényeket. A háttértérképen szintén piros jelöli a kritériumot teljesítő területeket DKIR adatai alapján indikátor krigeléssel végzett térbeli becslés alapján.

### 2.4.3 Élőhely osztályok előfordulási becslése

A munka részletes bemutatása Laborczi Annamária doktoranduszom doktori dolgozatában (Laborczi 2018) szerepel, itt relevanciája miatt teszek róla említést és csak körvonalazom a problémakört, illetve annak megoldását.

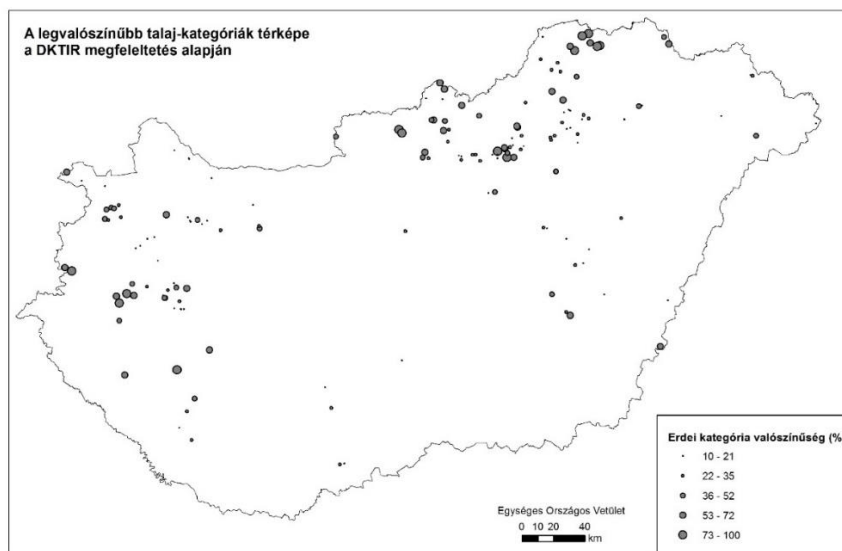
Magyarország Élőhelyeinek Térképi Adatbázisában (MÉTA) 35 hektáros hatszögre vonatkozóan állnak rendelkezésre információk (Molnár et al. 2007; Laborczi et al. 2008). Az adatgazda, MTA ÖK ÖBI részéről igény merült fel a potenciális élőhely típusok MÉTA hatszög középponti lokális becslésére (Biró et al. 2018), amihez termőhelyi adatokat, jelesül talajjellemzőket terveztek használni. Ehhez ökológiai megközelítésű talaj "típusok" előfordulási valószínűségi becslésére volt szükség. Ezen kategóriák nem egyeznek meg a klasszikus értelemben vett, talajtanban használt típusokkal, inkább olyan osztályok, melyekbe a talajok egyes diagnosztikai tulajdonság-kombinációk szerint sorolhatók: erősen, gyengén, illetve közepesen szikes, futó homok, humuszos homok, lösz, láp, erdőtalaj, öntés talaj. A kérdésfeltevésből és a fentiekből következik, hogy jelen esetben is a DKIR pontadatbázisa és annak specifikus adatainak indikátor krigeléssel történő kiterjesztése nyújtotta az alábbi típusok esetén a megoldást.

- **Lösz kategória:** azon szelvényeket soroltuk ide, melyekben a felszíni szint leírásában „lösz” kifejezés szerepel, és Magyarország Földtani Térképe (1:200.000, MFGI 2013) leírása alapján is lösz fordul elő.

dc\_1576\_18

- *Táp2 kategória* („lápi jelleg helyi szinten”): a felszíni szint leírásában „tőzeg” vagy „kotu” kifejezés szerepel.
- *Erdőtalaj kategória*: a  $h_2/h_1$  szintekre vonatkozó aránya alapján válogattuk le a valószínűsíthetően agyagbemosódásos szelvényeket.
- *Öntés kategória*: azon szelvények, melyekben a felszíni és az alatta fekvő szint textúrája különbözött és egyben a terepi pozícióból is öntés jellegre lehet következtetni („éralja”, „sík, lapos”, „mélyedés”).

A rendelkezésre álló talajinformációk térbeli felbontásából adódó pontatlanság miatt a pontra lekérdezésnél a pont 50 m sugarú környezetének területére vonatkoztattuk a becslések eredményeit. Példaként az erdőtalajokra végzett elemzés végeredménye látható a 2.15 ábrán.



2.15. ábra Az erdőtalaj elnevezésű élőhely osztály előfordulására vonatkozó becslés eredménye.

A legnagyobb integrált területi valószínűséggel előforduló kategóriával azonosítottuk a termőhelyi becslés eredményét, megadva továbbá a második legnagyobb értéket, és valószínűségű típust is, mint az adott pontban szintén valószínűsíthető „talaj típust” (2.6. táblázat).

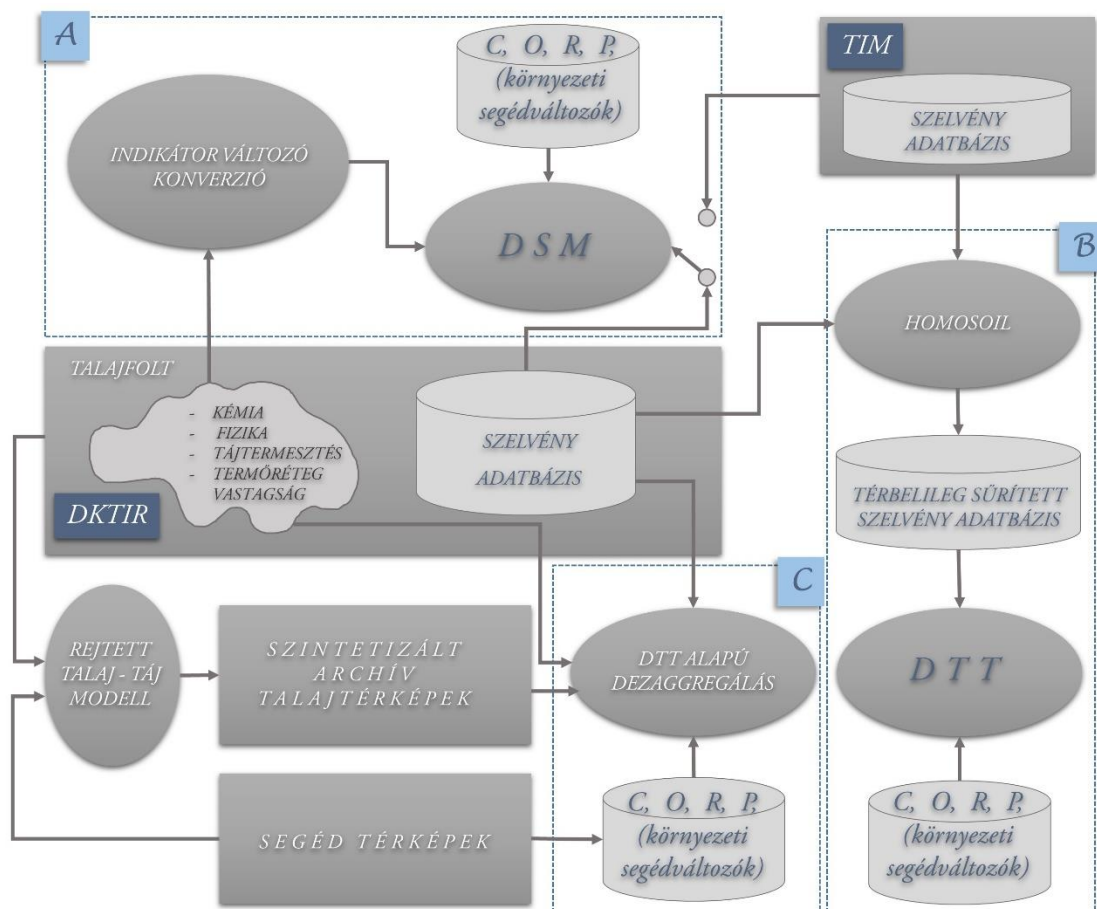
ID	maximális valószínűség típusa	maximális valószínűség értéke	második legnagyobb valószínűség típusa [%]	második legnagyobb valószínűség értéke [%]
178089	lősz	100	öntés	92
45700	lősz	100	erdei	70
82114	erdei	100	lősz	70
192338	lősz	99	erdei	9
224233	öntés	99	lősz	9
84309	erdei	98	lősz	46
60652	öntés	89	lősz	74
197415	lősz	89	öntés	54
152983	lősz	89	öntés	9
148813	erdei	87	lősz	27
63534	lősz	87	öntés	12

2.6. táblázat Részlet az élőhely becslés táblázatos eredményeiből a két legvalószínűbb becslés értékének és típusának megadásával.

## 2.5 A DK TIR adataiban rejlő lehetőségek kiaknázása digitális talajtérképezési környezetben

A digitális talajtérképezés kialakulása és fejlődése jellemzően a talajinformációkhoz való hozzáférés korlátozottságnak tulajdonítható. Ennek megfelelően alkalmazását általában a referencia talajadatok szükségessége jellemzi. Másrészt viszont a SCORPAN egyenlet a prediktorok között tekint az egyéb, esetlegesen rendelkezésre álló térbeli talaj információkra, amelyek segíthetik a digitális talajtérképezési munkák elvégzését és növelik a

térbeli becslések megbízhatóságát. A hazaihoz hasonló adatgazdagság pedig érdekes új lehetőségeket nyit az adatok digitális talajtérképezési környezetben történő felhasználására. A következő részben három módszert mutatok be a DKTIR célspecifikus alkalmazására, melyeket a 2.16 ábra segítségével foglalok egységes keretbe (Pásztor et al. 2016a).



2.16. ábra A DKTIR adatainak digitális talajtérképezési környezetben történő kiaknázása céljából alkalmazott három közelítés összefoglalása egységes keretben.

### 2.5.1 A DKTIR foltrendszer, mint prediktor segédváltozó

A DKTIR feldolgozása és reambulációja eredményeképpen előállított talajfolt geometriai adatbázis térbeli felbontásában a legrészletesebb térképi alapú talajinformáció forrás, amely az ország területére teljes fedettséget biztosít. Ez a talajtani alpmintázat teljesíti a SCORPAN modell S (soil, talaj) környezeti segédváltozóra vonatkozó feltételeit, következésképpen országos, digitális talajtulajdonság térképek előállításánál a predikciókban használjuk fel. Ehhez a DKTIR talajtérképi egységeit, név szerint a talajok (i) textúra és vízgazdálkodási tulajdonságait (DKTIR-F), (ii) kémiai tulajdonságait (DKTIR-K), (iii) sekély termőrétegűséget (DKTIR-S) és (iv) tájtermesztési besorolását (DKTIR-T) külön-külön kategóriáinként indikátor változó csoportokká alakítottuk. Ezen indikátor változók egy adott kategóriájú foltban 1-es, míg az eltérő kategóriájúakban 0-ás értéket kapnak. A DKTIR foltstruktúrája a 18 fizikai, 6 kémiai, 2 termőréteg-vastagság és 13 tájtermesztési osztály szerint összesen 39 indikátor változó formájában szolgálja SCORPAN alapú térbeli modellezéseket. Az egyes talajtulajdonságok digitális térképezésénél ezek közül természetesen a nagyobb relevanciával bírók kapnak szerepet. A DKTIR rétegekkel támogatott digitális talajtérképezési munkákkal részletesebben a 4. fejezetben foglalkozom.

### 2.5.2 Kategória típusú talajtérképek dezaggregálása adatbányászati módszerek segítségével

Kategória típusú talajtérképek térbeli felbontását javító, a térképi egységeket dezaggregáló módszerek kidolgozását az a tény indokolta, hogy bizonyos tematikus talajtérképek nem állnak rendelkezésre a megkívánt léptékben. Léteznek például genetikai talajtérképek, illetve a talajértékelésre vonatkozó információ hordozó térképek országos és üzemi léptékben, de a kettő közötti térbeli felbontásban nem. Márpedig számos esetben szükséges az üzemi térképek által lefedett területeknél jóval nagyobb kiterjedésben (megyékre, de akár az egész országra is) az országos térképek által nyújtott térbeli felbontást meghaladó térbeli információ. A DKTIR ezen a téren is jelentős potenciált biztosít, bizonyos, kategória típusú tematikus talajtérképek térbeli felbontásának újraosztályozással történő javítására (dezaggregálására).



Az 1.5.4 fejezetben bemutatott, és számos előnnyel bíró döntési fák többek között felhasználhatók létező talajtérképekben foglalt talaj-táj modellek megértésére, a felvételezési, szerkesztési szabályok utólagos formalizálására (Bui & Moran 2001; Häring et al. 2012; Odgers et al. 2014). A feltárt, döntési szabályokba foglalt összefüggések pedig nagy felbontású környezeti segédváltozók segítségével térbelileg finomított térképek előállítását teszik lehetővé (Kerry et al 2012). Ezen segédváltozók között speciális szerepet töltenek be a nagyobb térbeli felbontású, de eltérő tematikájú talajtani információk.

Az Agrotopográfiai térképek szintetizáló munka eredményeként születtek. Ez döntően a Kreybig-féle talajfelvételezés adataira alapozva és a Kreybig térképek talajfoltjainak térbeli és tematikus generalizálásával történt (Várallyay et al. 1979, 1980). A generalizálás összevonással és elhanyagolással, ennek megfelelően információvesztéssel jár. Az így született agroökológiai egységek talajtani szempontból inhomogének, amelyek összetételére vonatkozóan a Kreybig mintázat jelentős információtartalommal bír. Az agroökológiai egységeket másrésről az akkor segédeszközként választott 1:100.000-es topográfiai térképek által szolgáltatott domborzathoz illesztették. Nagyobb léptékű, jobb felbontású topográfiai alap alkalmazása szintén hatékony eszközzel szolgálhat a foltokon belüli heterogenitás elemzéséhez.

Szabolcs és munkatársai (1968, 1969a) az öntözés tervezését szolgáló térképezési módszertant dolgoztak ki és hajtottak végre 1:100.000-es léptékben Szolnok, Hajdú-Bihar, Békés és Csongrád megyék területére. Nagyobb léptékű térképezési módszertant is kidolgoztak 1:25.000-es léptékben, részletesen ismertetve az ahhoz szükséges alaptérképek elkészítését (Szabolcs et al. 1969b), de magát a térképezést csak korlátozottan, mintajellellegel végezték el. Az öntözés jelentősége ma sem vitatható; tervezési munkálataihoz ideális eszközt nyújthat a korábban kidolgozott módszertan digitális implementálása és a részletes felbontású térképezés elvégzése további területekre. Jelen kontextusban a lényeges elem, hogy az öntözés talajtani lehetőségeinek regionalizálásához a módszertan épít a talajtakaró genetikus osztályozására, ami 1:25.000-es léptékben nem áll általánosságban rendelkezésre hazánkban. Ennek áthidalására kísérletet tettünk az AGROTOPO genetikus típus fedvényének leskálázására először egy alföldi belvízöblözet, majd a Duna-Tisza-köze teljes területére, a DKTIR, egyéb környezeti segédváltozók, illetve osztályozó fák felhasználásával.

A feladat elvégzéséhez segédadatként az EU-DEM digitális domborzatmodellt (Bashfeld & Keim 2011) és a DKTIR talajtérképi egységeit használtuk. A DDM-ből a következő elsődleges, illetve másodlagos paramétereket származtattuk: lejtőszög (slope), kitettség (aspect), általános görbület (general curvature), lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság (vertical distance to channel network), SAGA<sup>5</sup> nedvesség index (SAGA wetness index), napi anizotrópikus melegítés (diurnal anisotropic heating), valós felszíni terület (real surface area), lefolyás hálózati alapszint (channel network base level), többszörös felbontású hegyhát index (MRVBF - Multiresolution Index of Valley Bottom Flatness), többszörös felbontású völgytalp index (MRRTF - Multiresolution Index of Ridge Top Flatness). A talajokat a DKTIR talajfoltjainak attribútumai szerint, fizikai és kémiai tulajdonságaik alapján jellemeztük.

A függő változó tematikus méretaránya, illetve a független változók térbeli felbontása alapján a 100 méteres cellaméret használata mellett döntöttünk (Hengl 2006). A vektoros állományokat az így definiált referencia rácsra vonatkoztatva alakítottuk raszterekké. Az AGROTOPO genetikai talajtípus kategóriáiban megjelenő modellezési szabályokat (talaj-táj modelleket) bizonyos peremfeltételek szerint elszórt virtuális mintavételi pontok segítségével próbáltuk megragadni. Rétegzett véletlenszerű mintavétel sorozatot generáltunk, ahol a rétegeket a talajfoltok képviselték. Feltételként határoztuk meg, hogy az AGROTOPO minden térképi egységébe legalább egy mintavételi pont essen, illetve, két szomszédos pont távolsága legalább 100 méter legyen. A talajfolt-határokon elkerülhetetlen a becslési bizonytalanság növekedése, mivel poligonok szerint definiált modellt vettünk alapul. Ezért a folthatárok mentén 100 méter széles pufferezónát hoztunk létre, amelyen belül nem engedélyeztük a mintavételt. Végül a pontok darabszámát úgy korlátoztuk, hogy átlagosan minden négyzetkilométerre essen egy pont, így a Duna-Tisza közti területre mintegy 12.000 virtuális mintavételi pont jutott.

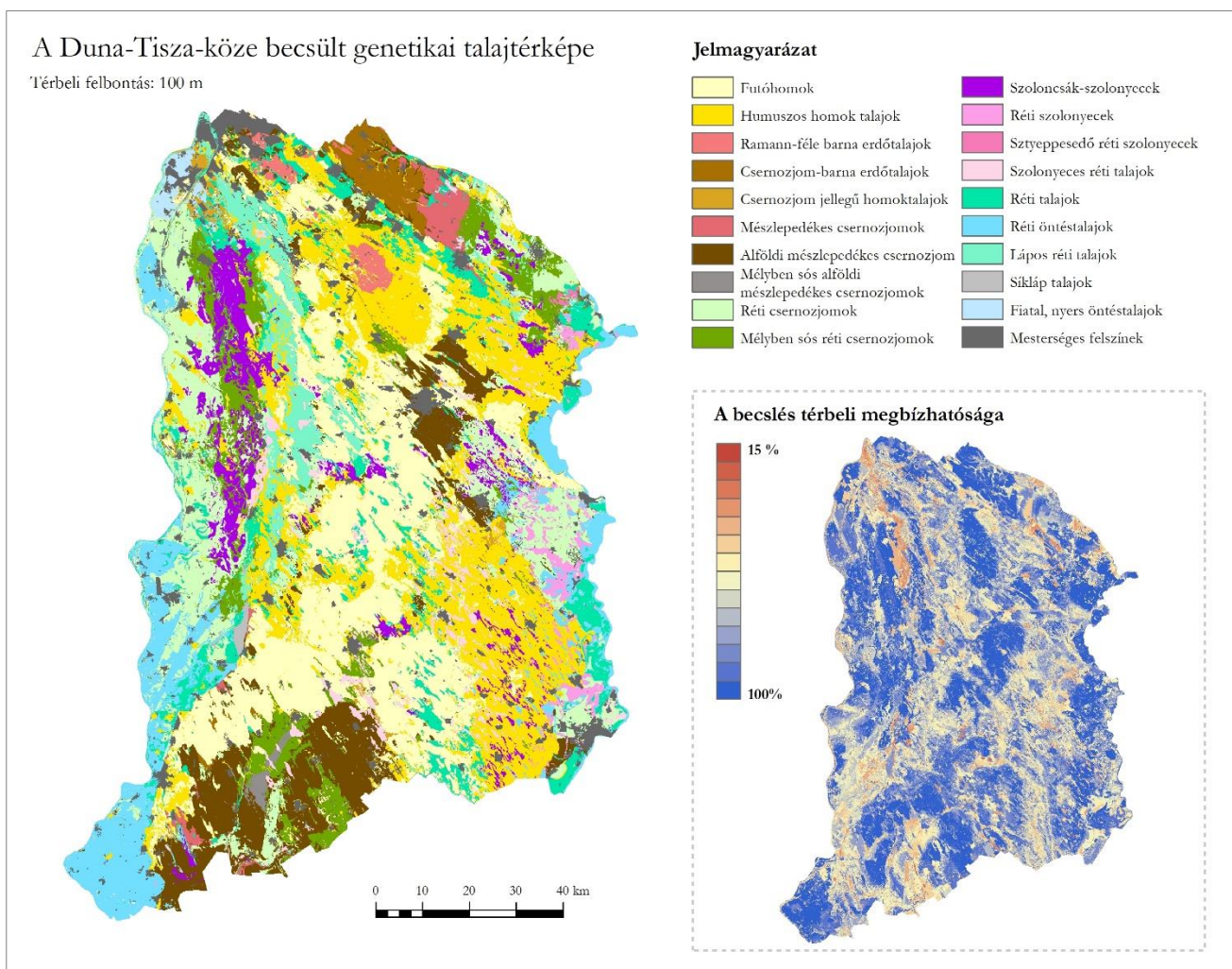
A döntési fa algoritmusban a pontokhoz rendelt, AGROTOPO adatbázisból származó talajtípus jelentette az osztályozandó, függő változót, a környezeti segédadatok (DDM és DKTIR) pedig a független prediktor változók halmazát. Az osztályozást 100 különböző random pont állományon végeztük el, minden esetben Gini index szerint, és gyökércsúcsenként legalább 100 esetet figyelembe véve. Az osztályozás eredményeit (2.7 táblázat) alkalmaztuk a tanuláshoz használt, teljes területi fedettséget nyújtó, 100 m térbeli felbontású fedvényekre. Az eredménytérképet a maximális valószínűség elve alapján készítettük el, minden egyes pixel esetén az oda becsült osztályok közül a leggyakoribbat választottuk. A 2.17 ábrán szerepel a folyamat eredményeképpen kapott genetikai talajtípus térkép. Az ily módon elvégzett predikció térbeli megbízhatóságát pixelenként jellemeztük és az adott cellához rendelt osztály előfordulási gyakoriságával becsültük. Minél konzekvensebb az adott talajtípusra vonatkozó lokális becslés, annál megbízhatóbbnak értékeljük a modell predikciós erejét.

<sup>5</sup> SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses (Conrad et al. 2015)

(1) Becslési valószínűség (%)	(2) Feltétel
100	(sík-görbület <= 50,57) és (DKTIR kémia <> 6) és (DKTIR kémia <> 1) és (DKTIR <> 66 és DKTIR <> 77 és DKTIR <> 88) és (DKTIR fizika <> 9 és DKTIR <> 99) és (channel_ntw > 8399,97) és (DKTIR fizika <> 2) és (channel_ntw > 8596,93)
37	(sík-görbület <= 50,57) és (DKTIR kémia <> 6) és (DKTIR kémia <> 1) és (DKTIR <> 66 és DKTIR <> 77 és DKTIR <> 88) és (DKTIR fizika <> 9 és DKTIR <> 99) és (channel_ntw > 8399,97) és (DKTIR fizika = 2)
29	(sík-görbület <= 50,57) és (DKTIR kémia <> 6) és (DKTIR kémia = 1) és (DKTIR fizika = 2 vagy DKTIR fizika = 3 vagy DKTIR fizika = 5) és (vert_dist_t > 234)
19	(sík-görbület <= 50,57) és (DKTIR kémia <> 6) és (DKTIR kémia = 1) és (DKTIR fizika = 2 vagy DKTIR fizika = 3 vagy DKTIR fizika = 5) és (vert_dist_t <= 234,01) és (DKTIR fizika = 5)
18	(sík-görbület <= 50,57) és (DKTIR kémia <> 6) és (DKTIR kémia = 1) és (DKTIR fizika <> 2 és DKTIR fizika <> 3 és DKTIR fizika <> 5) és (vert_dist_t <= 186,59) és (TFM > 8692) és (channel_ntw <= 8606,8)

2.7. táblázat Réti csernozjom talajok térbeli előfordulásának egyes becslései és azok feltétel rendszere.

DKTIR (Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer) térképezési egységeinek kód értelmezése: 66: Időszakosan vízállásos, vízjárta területek, 77: Erdők, 88: Tavak, nádasok, folyóvizek, 99: Települések. DKTIR fizikai talajtulajdonságok: 2: Közepes vízvezető képességű, a vizet erősen tartó talajok, 3: Gyenge vízvezető képességű, a vizet erősen tartó, erősebben repedező talajok, 5: Igen nagy vízvezető képességű, gyengén víztartó talajok, 9: Szikes talajok. DKTIR kémiai talajtulajdonságok: 1: Túlnyomóan semleges vagy gyengén lúgos, mésszel telített talajok, 6: Szántóföldi művelésre alkalmatlan szikes talajok, mésszel nem javíthatók. channel\_ntw: csatornahálózat alap szint; vert\_dist\_t: relatív magasság a csatornahálózat alap szintre vonatkoztatva

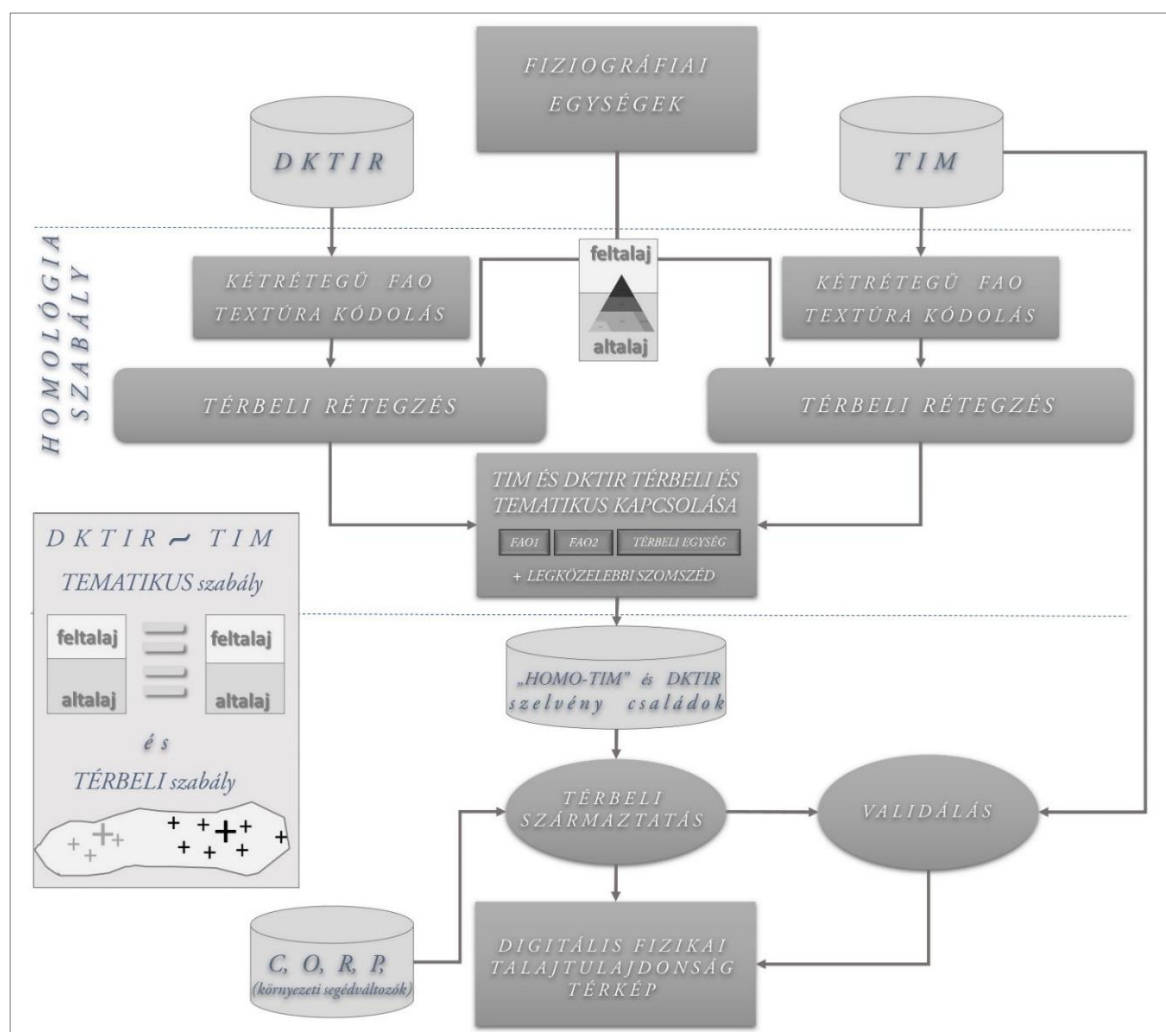


2.17. ábra Az AGROTOPO dezaggregálásával készített genetikai típus térkép, az annak megbízhatóságára vonatkozó becsléssel.

Az AGROTOPO genetikai típus térképének továbbfejlesztett módszertanon alapuló és országos léptékű dezaggregálásának részletes bemutatása Laborczi Annamária doktoranduszom doktori dolgozatában (Laborczi 2018) szerepel.

### 2.5.3 Referencia talajtani adatbázisok integrálása egymást kiegészítő jellemzőik kiaknázásával

Mallavan és munkatársai (2010) vezették be a DTT irodalmába az ún. „Homosoil” módszert, melynek alkalmazását abban az esetben javasolják, amikor gyakorlatilag reménytelen valós talaj információhoz jutni (pl. nehezen megközelíthető, háborús övezetek stb.). Javaslatuk szerint a talajképződési folyamatoknak a térképezendő és egy akár igen távoli, referencia területen feltételezett homológiája megengedhetővé teszi az extrapolációt. Ennek során a referencia terület talaj adatait tekintik érvényesnek a térképezendő területen, mint a térképezés kiindulási értékeit. A talaj homológia koncepcióját használta lényegében a Kreybig térképezés, méghozzá az új megközelítésnél jóval megalapozottabb módon, hiszen az lokális és személyesen azonosított hasonlóságokon alapult. Amennyiben a felvételező egy hasonló földrajzi helyzetben feltárt azonos jegyekkel bíró talajszelvényt már leírt, az új szelvény megkapta annak azonosítóját és nem történt újabb mintavételezés. A leírt szelvény tulajdonságai átszármaztak a mintázatlanra. A Kreybig adatok ezen speciális jellemzőjét aknázza ki a digitális reambuláció előzőekben bemutatott „talajfoltok térbeli finomítása” (2.2.2 fejezet) lépése is. Az alábbiakban azonban egy olyan módszert mutatok be, melyben két referencia talajtani adatbázis integrálása történik meg egymást kiegészítő jellemzőik kiaknázásának céljából. Az egyik természetesen a DKTIR pontadatbázis, a másik pedig a Talajinformációs és Monitoring Rendszer (TIM 1995; Várallyay, 2002).



2.18. ábra A homológiai elven kidolgozott modell folyamatábrája.

A TIM az egyetlen aktuális talajtani információkat szolgáltató, országos mérőhálózat, amely 1236 helysín talajszelvény szintű adatait gyűjti egy jól kidolgozott protokoll szerint (TIM 1995). Jelenleg tematikailag a legrészletesebb országos szintű talaj adatbázis, amely a talajszelvény és környezetének leírásán túl szintekre vonatkozóan, kvantitatív fizikai és kémiai talajtulajdonságokat tartalmaz. A helysínnek kijelölésénél táji szintű reprezentativitásra törekedtek, hogy a mérési pont megfelelően jellemezze az adott természetföldrajzi egység talajviszonyait. A mintavételi helyek kijelölés azonban nem térképezési céllal történt. Ezért, illetve a pontok sűrűsége okán tisztán a TIM adatok interpolálásával nem érdemes 1:1.500.000 méretaránynál (ami durván 1500 méteres rács felbontásnak felel meg; Hengl, 2006) nagyobb részletességű térbeli becslést megcélolni. Nagyobb térbeli felbontás eléréséhez a TIM adatokat térbelileg részletesebb segédinformációval kell megtámogatni, amire három lehetőség adódik:

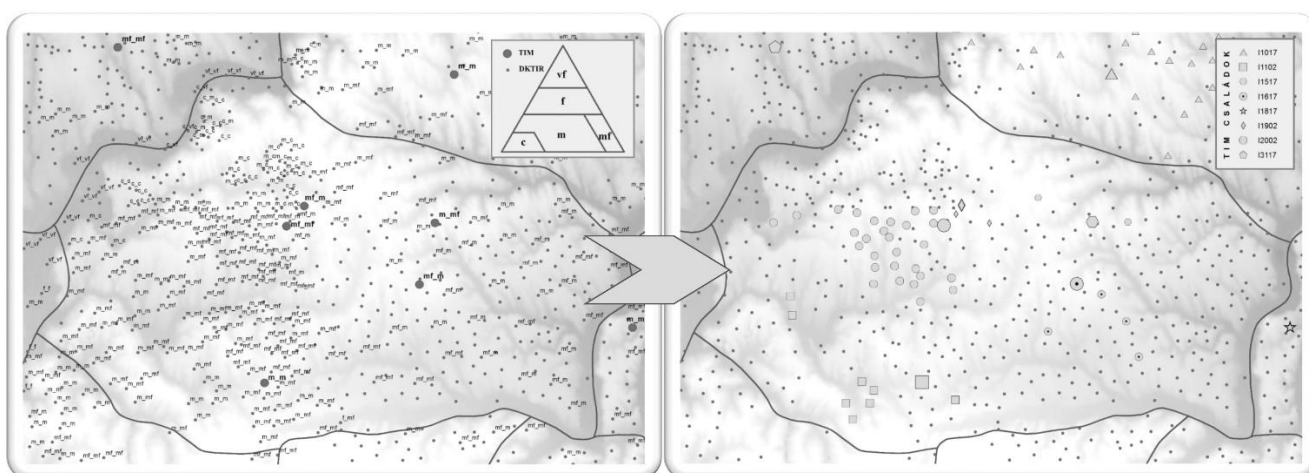


- Digitális talajtérképezés eljárás keretében kizárólag környezeti segédváltozók alkalmazása.
- Talajfolt térképek bevonása prediktor segédváltozóként.
- A ritkás területi fedettséggel rendelkező TIM pontok térbeli érvényességének kiterjesztése kiegészítő talajtani információ bevonásával. A DKTIR szelvény adatbázisa nyújtott ehhez megfelelő segítséget.

A módszer alapötlete, olyan homológ helyszínek azonosítása egy ésszerű területi egységen belül, ahol egy TIM pontban meghatározott specifikus (térképezendő) tulajdonság szintén érvényesnek tekinthető valamilyen, adatokon alapuló döntési feltétel szerint. A TIM szelvény földrajzi környezetében feltárt DKTIR szelvényeket vizsgáltuk, mennyiben tesznek eleget a felállított homológia szabálynak. Az adott területen belül a feltételt kielégítő helyszíneket tekintettük homológ pontoknak.

A módszert országos szemcseméret frakció térképek előállítására használtuk fel. A modellezés koncepcióját és menetét a 2.18 ábra foglalja össze. Fizikai talajtulajdonságok regionalizálására a mért fizikai tulajdonságokra vonatkozó szabályt állítottunk fel. A DKTIR nem tartalmaz direkt információt a talajok szemcseméret eloszlására vonatkozóan. A rétegenkénti fizikai talajtulajdonságokat – mint az 2.4.1 alfejezetben már láttuk – fel lehet használni FAO textúra osztályba sorolásra (Bakacsi et al. 2010), amiből egy durva, kétrétegű (feltalaj-altalaj) klasszifikációra képezhető. Ugyanez a besorolás (jóval egyszerűbb módon) a TIM pontokra is elvégezhető az adatbázisban rétegenként rendelkezésre álló részletes szemcsefrakció adatok alapján.

Egy adott TIM helyszín azonos kistájon belüli környezetében, a megegyező kétrétegű osztályozású DKTIR szelvényeket tekintettük homológ pontoknak. A környezetet Thyssen polygonok formájában reprezentáltuk. Mindennek eredményeképpen a TIM pontok környezetében DKTIR pontokból álló családok alakultak, melyek együttesen kirajzolták azt a tartományt, ahol a TIM helyszínre jellemző fizikai tulajdonságok érvényesnek tekinthetők (2.19 ábra). Esetünkben végül mintegy 14.000-re növekedett az eredeti 1236 pont számossága, amelyek felhasználhatók kvantitatív talajtulajdonságok térbeli kiterjesztésére.

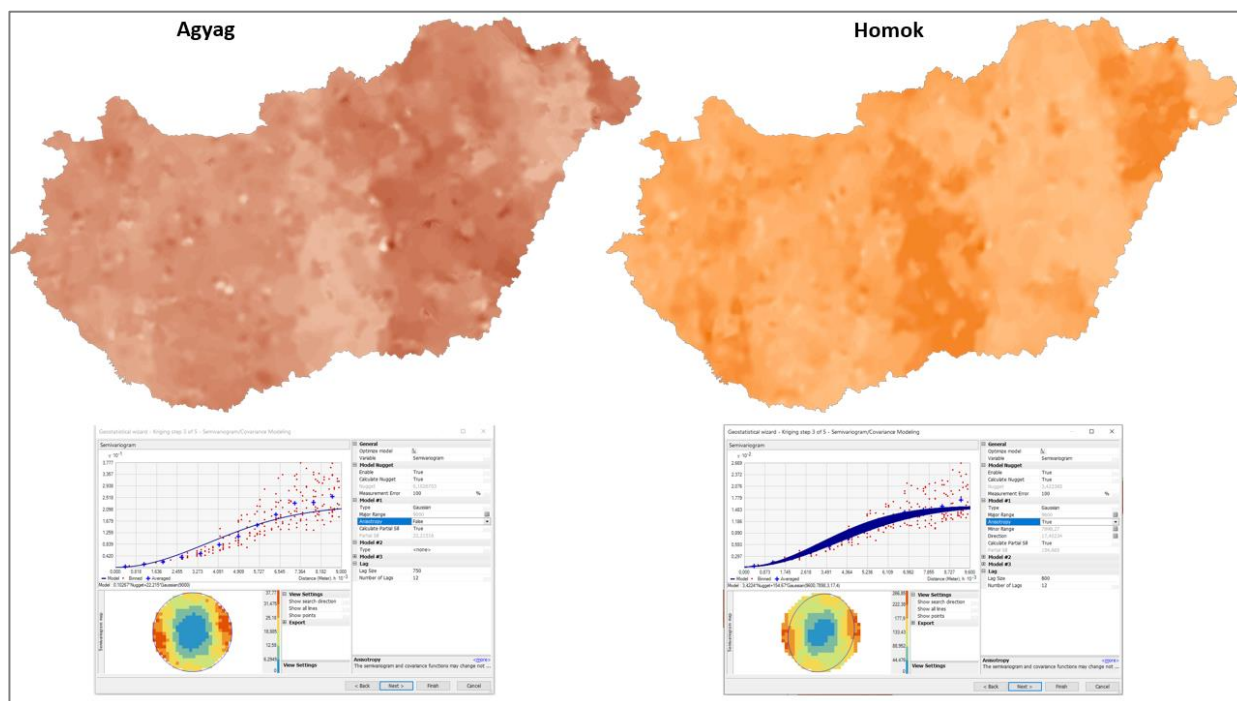


2.19. ábra DKTIR szelvény családok kialakulása a TIM pontok környezetében az alkalmazott homológia szabálynak köszönhetően. Balra: a TIM és a DKTIR pontok kétrétegű FAO textúra osztály besorolásukkal (c: coarse/durva, m: medium/közepes, mf: medium fine/közepesen finom, f: fine/finom, vf: very fine/nagyon finom), amennyiben ez megtehető volt. Jobbra: DKTIR szelvény családok (kis formák) formálódnak a homológként tekintett TIM helyszín közelében (nagyobb, azonos alakú formák); a nem kapcsolható DKTIR pontok szürke pontokkal, a kistájuk sötét poligonként.

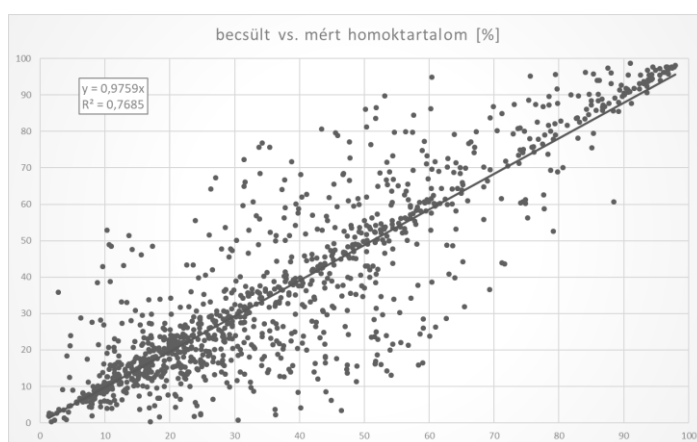
A talajok homok, illetve agyag tartalmára végeztem országos becslést hagyományos krigeléssel fél fokperces (kb. 750 méteres) térbeli felbontással (2.20 ábra). Az agyag tartalom esetén izotróp, gauss-i típusú szemivariogram modellt illesztettem (hatástávolság = 9000 méter, tető = 22, röghatás = 0); a homok tartalom esetén pedig anizotróp, gauss-i típusút (hatástávolság = 9600/7898 méter, irány = 17,4, tető = 154, röghatás = 3,4).

A módszer validálása a következőképpen történt. A térbeli becslés elvégzéséből kihagytuk a TIM pontokat, csupán a homológ (de jóval nagyobb számban rendelkezésre álló) DKTIR pontokból, illetve a rájuk tovább származtatott szemcsefrakció értékekből indultunk ki. Ily módon a TIM pontokat független megfigyelésekként fel lehetett használni a térbeli predikciók kiértékelésére. Az 2.21 ábra a feltalaj homoktartalom krigeléssel történő országos becslésének értékelését mutatja be. A mért és a becslült értékek korrelációja igen jónak mondható. A térkép átlagos négyzetgyök hibája (RMSE) pedig 12,5-nek adódott.

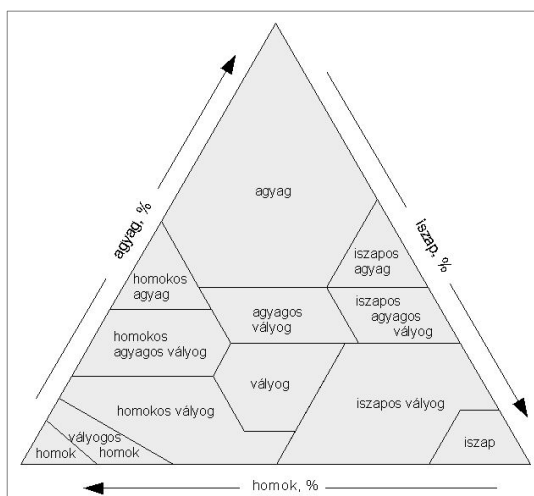
Az elkészült homok- és agyagtartalom térképeket használtuk, hogy elkészítsük Magyarország első, országos, USDA osztályok szerinti talajtextúra térképét (Pásztor et al. 2011; Négyesi et al. 2015). A két térkép kombinálásával, a homok és agyag százalék értékek alapján meghatározható az adott pixel textúra háromszögön belüli helyzete, aminek segítségével kivitelezhető a releváns textúraosztályba való sorolása (2.22 ábra).



2.20. ábra A homologia módszer felhasználásával, hagyományos krigeléssel előállított, országos homok- és agyagtartalom térképek, illetve a krigeléshez használt tapasztalati szemivariogram modell és becsült paraméterei.



2.21. ábra A feltalaj homoktartalom homologia alapon, krigeléssel történő országos becslésének értékelése.



2.22. ábra A talaj textúra háromszög USDA osztályozás szerinti felosztása.

Érdekességképpen megjegyzendő, hogy elsőként ezt a műveletet térinformatikai környezetben végeztük el. Ehhez egyrészt vektorosan előállítottuk és koordináta-rendszerbe illesztettük a textúra háromszöget, annak

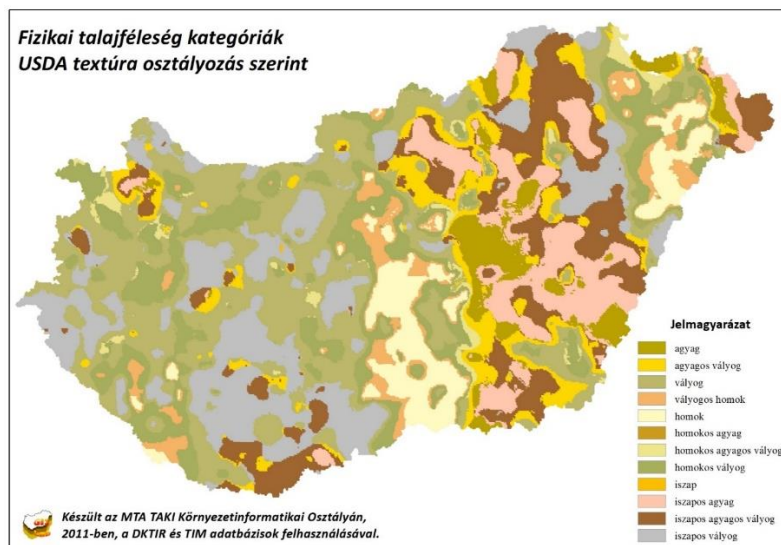


különböző felosztásaival (FAO, USDA), másrészt a szemcsefrakció értékeket Descartes-koordinátákra transzformáltuk:

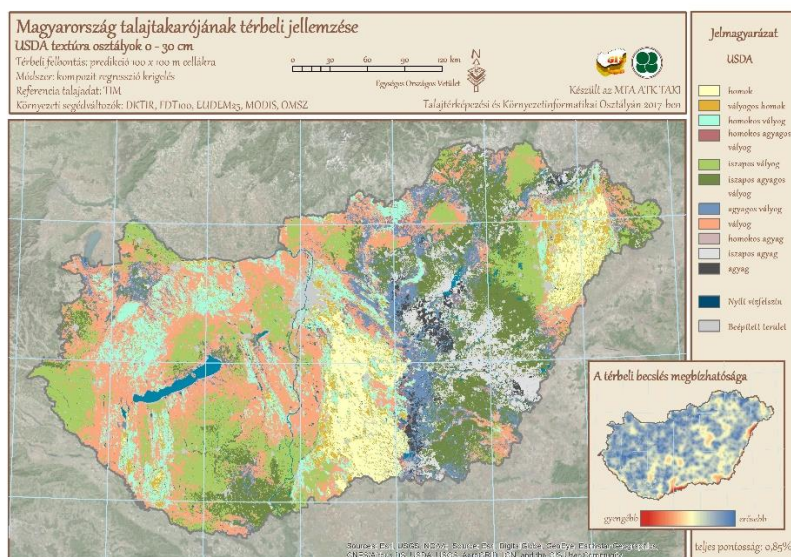
$$x = 100 - H - \frac{A}{2}; \quad y = A * \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.1)$$

ahol  $A$  az agyagtartalom,  $H$  pedig a homoktartalom

A nem túl részletes térbeli felbontású talajtextúra térképet (2.23. ábra) elsőként meteorológus körökben értékelték és hasznosították főképpen a talaj és a planetáris határréteg, illetve konvektív csapadékok kapcsolatának tanulmányozására (Ács et al. 2014; Breuer et al. 2012; Göndöcs et al. 2015). A térkép minőségével, a térbeli struktúrájában szembeszökő predikciós elnagyolásokkal kapcsolatban azonban magunknak fenntartásaink voltak. Többek közt ezen, elsődleges(nek tekintett) eredmények korrigálásának vágya vezetett a 4. fejezetben bemutatásra kerülő munkálatok elindításához, melynek egyik fontos hozadéka a Laborczi Annamária doktoranduszom doktori dolgozatában (Laborczi 2018) részletesen bemutatott újabb predikciók Magyarország talajainak USDA osztályok szerinti talajtextúrájára vonatkozóan (2.22. ábra).



2.21. ábra A homológia módszer segítségével modellezett homok- és agyagtartalom térképek alapján szerkesztett, USDA osztályok szerinti országos talajtextúra térkép a feltalajra vonatkozóan.



2.22. ábra Környezeti segédadatok felhasználásával digitális talajterképezési módszerekkel szerkesztett USDA osztályok szerinti országos talajtextúra térkép a 0-30 cm-es rétegre vonatkozóan (<http://dosoremi.hu>).

Az eredmények alapján a térképek elkészültek a módszert igen ígéretesnek tekintettük, bár már akkor is voltak elképzelések a továbbfejlesztésére, kezdve a leginkább magától értetődő gondolattól: további homológia szabályok kidolgozására vonatkozólag. A továbbgondolásra, illetve -fejlesztésre azonban eddig nem került sor, mivel az újabb feladatok és az azokra adott válaszok új irányt szabtak térképezési munkáinknak. Mindazonáltal nem tettem le arról, hogy a koncepcióban rejlő lehetőségeket az újabb keletű digitális talajterképezési módszerek segítségével is kiaknázhassuk.

A hagyományos talajtérképezés egyik legfontosabb kihívásaként kezelte azon területegységek meghatározását, amelyek a talajtakaró valamilyen jellemzői szempontjából egységesnek tekinthetők. A lehatároláshoz azonosítani kellett azon talajtulajdonságokat, amelyek egyrészt tematikusan jól definiálják, másrészt térben is lehetővé teszik a lehatárolást egy megfelelően kidolgozott talaj-táj modell alapján. A geoinformatikai gondolkodásmód terjedésével egyre több terület (területi tervezés, vidékfejlesztés, vízgazdálkodás, környezetvédelem, mezőgazdaság) tett, tesz fel ezzel analóg kérdéseket: beazonosítani és lehatárolni a földrajzi térben, a tájban olyan objektumokat, amelyek bizonyos, némelykor igen komplex problémakör kapcsán, jellemzően adminisztratív szempontból egységesen kezelendők. A kérdésfeltevések a következő egyszerűsített formába foglalhatók: Hol találhatók Magyarországon (i) természeti hátránnyal érintett, vagy éppen (ii) kiváló és jó termőhelyi adottságú szántó-, illetve (iii) belvíz-, vagy (iv) nitrátérzékeny, esetleg (v) öntözésre alkalmas területek? A bevezetőben (1.1, 1.2 fejezet) írtak alapján a felsorolt kérdéskörökben a talajok, illetve a talajokra vonatkozó térbeli információk jelentős szerepe vitathatatlan, így nem meglepő, hogy a megoldásokat is jellemzően talajtérképi oldal felől keresik. A következőkben azt járom kicsit körbe, hogy lehet válaszokat adni a fenti kérdésekre.

A lehatároláshoz kapcsolódó feladatok három szinten jelentkeznek.

- (i) A lehatárolni kívánt fogalom kellő pontossággal történő, formalizálásra alkalmas definiálása.
- (ii) A fogalmat indikáló tényező(k) térbeli relevanciájának azonosítása/lehatárolása.
- (iii) A lehatárolás pontosságának/megbízhatóságának optimalizálása a kijelölés gyakorlati következményei miatt.

Jelen fejezetben az (i)-(ii) kérdéskörökkel foglalkozom. Nem tárgyalom még őket sem teljes részleteikben, hisz az jóval túl mutatna a dolgozat keretein, de bemutatom a környezeti meghatározottságú lehatárolás kivitelezésének néhány módszerét, illetve ezek talajtérképi vonatkozásait.

### 3.1 Természeti hátránnyal érintett területek lehatárolása

A kedvezőtlen adottságú területek lehatárolása a 2.4.2 fejezetben már említésre került, mint a DKTIR országos kiépítésének katalizátora, másrészt mint példa a DKTIR információtartalmának kiaknázására indikátor krigeálás felhasználásával. Most egy kicsit részletesebben mutatom be a problémakört és kezelésének egymást követő lépéseit.

Az Európai Unió Közös Agrárpolitikájának egyik fontos célja a mezőgazdasági termelés folytatásának bátorítása kedvezőtlen adottságú területeken is olyan támogatási konstrukció kialakításával, amely egyrészt stabil bevételt nyújt a gazdálkodóknak, másrészt csökkenti a gazdálkodásból származó környezeti terhelést. Az EU-ban 1975. óta működik az ún. Kedvezőtlen Adottságú Területeken (KAT) gazdálkodó termelőknek szóló támogatási rendszer. Az induláskor alkalmazott társadalmi-gazdasági kritériumok már régen nem tükrözik a kifizetések fő célkitűzéseit, másrészt az akkor használt adatbázisok elavultak. Ráadásul a tagállamok egymással uniós szinten nem összehasonlítható kritériumokat használtak a területek kijelölésére. Az EU jelentős bővülése után döntés született egy objektív, tudományosan megalapozott, közös feltételrendszer kidolgozásáról az átláthatóságot, az egyenlő bánásmódot és a támogatások célzottságának növekedését szem előtt tartva (CEC 2009). Annak érdekében, hogy az új lehatárolás az összes tagországra nézve egységes, és átlátható legyen, a Bizottság feladatért felelős osztályai 2007-ben megbízták a Közös Kutatóközpontot (Joint Research Center), hogy állapítson meg egy közös talaj- és éghajlati kritérium-rendszert. A szakértők nyolc talajtani és éghajlati paraméter-csoportot (alacsony hőmérséklet, hőstressz, a talaj vízelvezető képessége, a talaj szemcseösszetétele és kövessége, a talajréteg vastagsága, a talaj kémiai tulajdonságai, a talaj vízmérlege, valamint a lejtéviszonyok) határoztak meg, melyek egy bizonyos küszöbérték fölött az EU tagországokban, a mezőgazdasági termelés számára komoly korlátokat jelentenek (van Orshoven et al. 2008). A kedvezőtlen adottságú területek új kijelölése, immáron természeti hátránnyal érintett területek (THÉT) néven, az alacsony termőképességű talajokra és kedvezőtlen klimatikus viszonyokra vonatkozó közös biofizikai kritériumok alapján történik az Unió egész területén. A kritériumrendszert ugyan a Közös Kutatóközpont dolgozta ki, a feladat gyakorlati megvalósítása viszont tagállami hatáskörbe tartozik, lehetőség szerint nemzeti adatokra és tudományosan kidolgozott, elfogadott módszerekre alapozva. A közös biofizikai paraméterek alapján történő végleges lehatárolást ún. térképi szimulációk keretében történő tesztelések előzték meg, melynek eredményeit a Bizottság értékelte. Ebből egy iteratív folyamat alakult ki, melynek során mind a feltételrendszer, mind az arra adott válaszok több lépésben is megváltoztak.

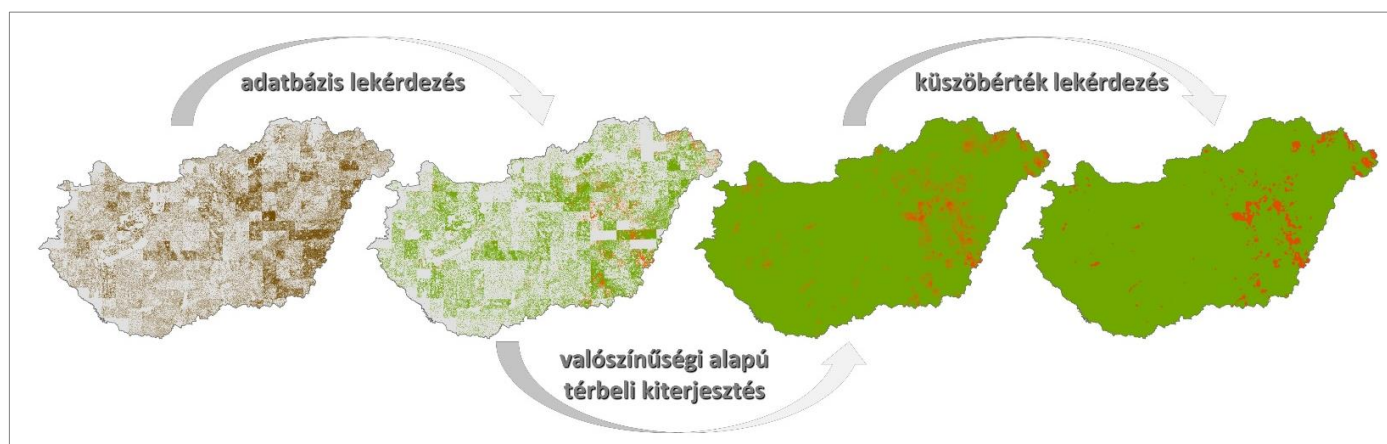
Maga a kritériumrendszer a következőképpen épül fel (3.1 táblázat). A magas szinten megnevezett kedvezőtlen biofizikai adottságokat mérhető paraméterekkel definiálták, (az első körben ez alól kivételt jelentett a káros vízbőséghez rendelt rossz vízelvezetőképesség), melyekhez küszöbértékeket rendeltek.

Kritérium		Definíció	Küszöbérték
Klíma	Alacsony hőmérséklet	Vegetációs periódus hossza, Hőösszeg	<180 nap <1500 nap °C
	Hőstressz	T <sub>max</sub> napok száma	10 nap >35 °C
Talaj	Vízvezető képesség	Káros vízbőség	Rossz vízvezető képesség
	Talaj szemcse-összetétele és kövessége	Szélsőséges agyag-vályog-homok frakciók	Homok (S texture class), agyag>60%, vertic, szerves, tömör kőzet <15 cm
	Gyökérfejlődési mélység	Talajréteg vastagság	<30 cm
	Talajkémiai tulajdonságok	Magas só- és szódataralom, toxikusság	Só>4dS/m, ESP>6, Gipsz>15%
Integrált: talaj és klíma	Talaj vízháztartása	Relatív vízhiány	<90 nap
Domborzat	Lejtés		>15%

3.1. táblázat A természeti hátránnyal érintett területek lehatárolásához kidolgozott kritériumrendszer 2009. évi verziója.

A küszöbértékek megadása elvileg igen jól definiálttá teszi a problémát, hiszen csupán egy lekérdezés eredményeképpen beazonosíthatók azok a területek, melyeken a feltétel teljesül. Csakhogy ehhez az adott paramétert, lehetőleg finom térbeli felbontással megjelenítő térképre lett volna szükség. Márpedig hazánkban azokra a paraméterekre, melyekre a határértékek vonatkoznak, a feladat megfogalmazásakor egyáltalán nem álltak rendelkezésre térképi információk. A megoldáshoz ezért egy megfelelő tematikus és térbeli felbontású, valamint adatstruktúrával rendelkező, országos fedettségű, térbeli talajinformációs rendszer rendelkezésre állása, továbbá annak elemzéséhez feladat-specifikus módszertan kidolgozása volt szükséges. A korábban már részletezett jellemzői miatt 2010-ben a Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszerre alapoztuk az azonosítás és a lehatárolás elvégzését (Pásztor et al 2010; Szabó et al. 2011).

### 3.1.1 Archív adatok célspecifikus feldolgozásán alapuló lehatárolás



3.1. ábra Grafikus összefoglaló.

A THÉT kritériumokhoz tartozó műveletek első körös elvégzése az EU bizottság által a 2009. április 21-i lehatárolási változatban megfogalmazott egyes paraméterek alapján történt. Mivel a meghatározott biofizikai paraméterek és azok határértékei nem minden esetben álltak rendelkezésre közvetlenül az adatbázisban, a biofizikai paraméterek definícióinak értelmezése után kellett a szükséges jellemzőket és azok határértékeit származtatni az adatbázisokban rendelkezésre álló adatok alapján, tematikus adatmodellezést, illetve transzfer függvények kidolgozása révén. A felhasználható információkat részben a DKTIR talajfoltjai, részben a talajszelvények, mint pont geometriai objektumok hordozzák (3.2 táblázat).

c\_1576\_18

Kritérium		egyéb tulajdonság	DKTIR				egyéb adatforrás
			folt	szelvény			
				labor	layer	profile	
Vízvezető képesség		mély fekvés &	fizika = 10 v 66 fizika = 3	- -	- -	- -	DDM
Szemcse-összetétel és kövesség	durva vázrészek	-	fizika = 7 v 71 - 75	-	-	-	
	homok	-	fizika = 5 v 55	(0 <) légszáraz nedvesség <= 1	szerkezet = homokos	-	
	nehéz agyag	-	-	6,5 < légszáraz nedvesség <= 15	-	-	
	szerves talaj	láp v	fizika = 10	20% < humusz	-	-	CLC50
	vertic tulajdonság	szmektit dominancia &	fizika = 3	fizikai féleség = nyirok, nyirokagyag	szerkezet = repedéses v fizikai féleség = nyirok, nyirokagyag	-	AGROTOPO
		szmektit dominancia &	-	alsó mélység – felső mélység > 15 & 3,5 < légszáraz nedvesség (< 15) & össz só < 0,1	-	-	AGROTOPO
	kőzet kibukkanás						
Termőréteg vastagsága		-	termoreteg = 1 (& kemia <> 1, 2)	-	-	termőréteg vastagság <= 30	
Kémiai tulajdonságok	sótartalom	-		[(0 <) légszáraz nedvesség <= 1 & össz só > 0,1] v [1 < légszáraz nedvesség <= 5 & össz só > 0,15] v [5 < légszáraz nedvesség (< 15) & össz só > 0,2]	-	-	
	szikesség	-	kémia = 5, 6	-	-	-	
	gipsz tartalom						

3.2. táblázat A talajokra vonatkozó THÉT kritériumrendszer 2009. évi verziójának a DKTIR adatrendszer alapján végzett tematikus modellezése.

A térbeli és tematikus modellezés tervezésénél három fontos tényezőt kellett figyelembe vennünk:

- A felhasznált DKTIR adatbázis egyszerre tartalmaz kétdimenziós, talajfoltokra, illetve pontszerű, talajszelvényekre vonatkozó adatokat.
- A DKTIR nem teljes adatrendszer abban az értelemben, hogy nem tartalmaz minden objektumára vonatkozóan minden lehetséges adatot.
- A DKTIR nem tartalmazza közvetlenül azokat a paramétereket, amelyek a közös kritériumokban szerepelnek.

Mindezekből két dolog következik:

- Egy-egy kritérium teljesülését, illetve teljesülésének térbeli érvényességét becsülni vagyunk kénytelenek.
- Számos esetben azonban erre a becslésre több, egymástól független megközelítés is adódik, amelyek eredményei kiegészítik egymást.

Célunk az volt, hogy az egyes kritériumok teljesüléséről történő döntéshozás a lehető legtöbb információn alapuljon és a felhasznált adatok alapján a lehető legrobosztusabb legyen. A DKTIR talajfoltjai regionalizálnak egyes talajtulajdonságokat, de ezt mind térben, mind tematikusan erősen generalizálva teszik. A finomabb térbeli felbontás elérésére, illetve a részletesebb tematikus származtatásra a talajszelvények használata ad lehetőséget, ami megkívánja az egydimenziós információ térbeli kiterjesztésének megoldását.

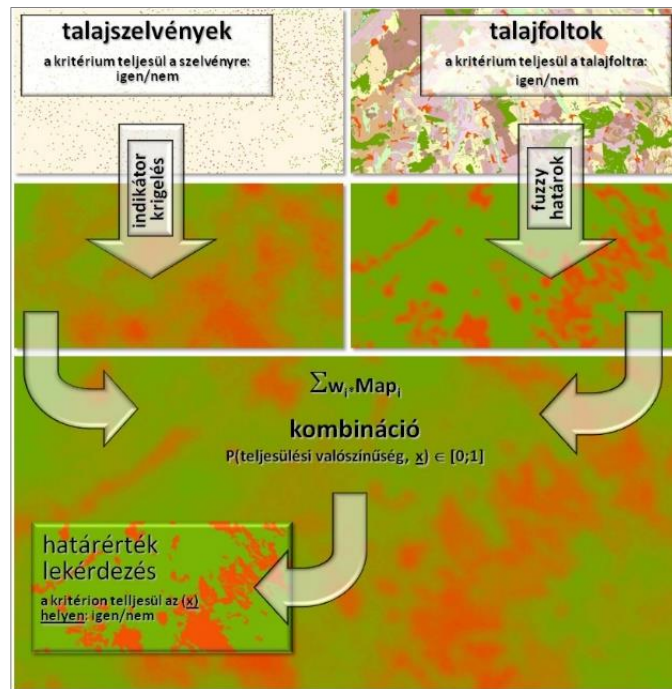
Az egyes korlátozó tényezők térbeli modellezésének lehetőségeire egy további szempont is jelentős hatással volt. A regionalizálandó paraméter végső soron egy-egy specifikus kritérium teljesülése, azaz a kritériumonkénti végtermék egy bináris térkép, amely igen-nem kategóriákat tartalmaz. Egy kritérium szigorú teljesülésének becslése azonban számos hibalehetőséggel terhelt. Ennek kezelésére vezettük be a valószínűségi, illetve fuzzy megközelítést, ahol a teljesülés bináris 0-1 értékeit valószínűségi változók, illetve fuzzy halmaz értékek szélsőértékeként tekintettünk, a regionalizálás során megengedve tetszőleges [0,1] intervallumba eső értékek előfordulását.

A kritérium teljesülés regionalizálásához ideális eszközt biztosított a 2.4 fejezetben bemutatott indikátor krigelés (Isaaks & Srivastava 1989, Marinoni 2003). A módszer alkalmazásához először is egy adott THÉT kritérium teljesülését minden egyes talajszelvényben megvizsgáltuk. A kritériumot teljesítő pontokat 1-es, a nem



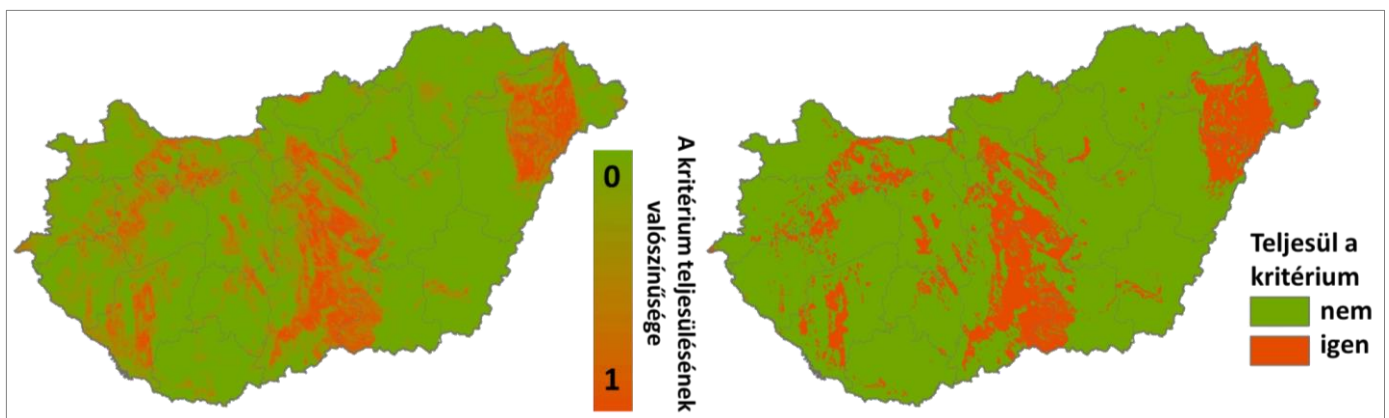
dc\_1576\_18

teljesítőket 0-s indikátor értékkel kódoltuk. A döntéshozáshoz elégtelen információval jellemzett talajszelvényeket kizártuk a vizsgálatból, hiszen az adathiány miatt nem értékelhető pont nem kezelhető azonosan a kritérium vizsgálat alapján 0-val kódolttal. Ezért a részelemzésekben résztvevő talajszelvények száma más és más volt, attól függően, hogy hány adathiányos, illetve hibás értékű elem akadt a vizsgálatban használt paraméterek szerint (ez a szám így is minden esetben jóval 100.000 feletti volt). Az ily módon előkészített kritérium teljesítési indikátor interpolálása indikátor krigeléssel történt, melynek eredménye a kritérium teljesülési valószínűségi térkép (3.2 ábra).



3.2. ábra A térképi szimuláció valószínűségi kezelése.

A talajszelvényeknél bevezetett valószínűségi megközelítés után érdemes volt a talajfoltok használata kapcsán meglevő bizonytalanságot is figyelembe venni a térbeli modellezésnél. A talajfoltok éles határvonalal választják el a folt tulajdonságok alapján THÉT besorolású térrészeket a kritériumot nem teljesítőktől, annak ellenére, hogy azok a háttér talajtulajdonságok, amelyek ezt meghatározzák sokkal simább, folytonos átmenettel változnak térben és egyáltalán nem biztos, hogy az egyik szempont alapján meghúzott határ a másik szempont alapján definiált határértéket is pont azon határ mentén lépi át. Ezen probléma kezelésére a talajfolt határok fuzzy kezelésére tértünk át, amely sokkal hűebben képezi le a talajtulajdonságok átmenetes változatosságát (Wang & Hall 1996; Lee & Lee 2006). Ily módon egy adott kritérium teljesülésének talajfoltokon alapuló térbeli érvényesség becslésének eredménye is egy kritérium teljesülési valószínűségi térkép.



3.3. ábra Valószínűség teljesülési térkép és a lekérdezése eredményeképpen előálló kritérium teljesülési térkép.

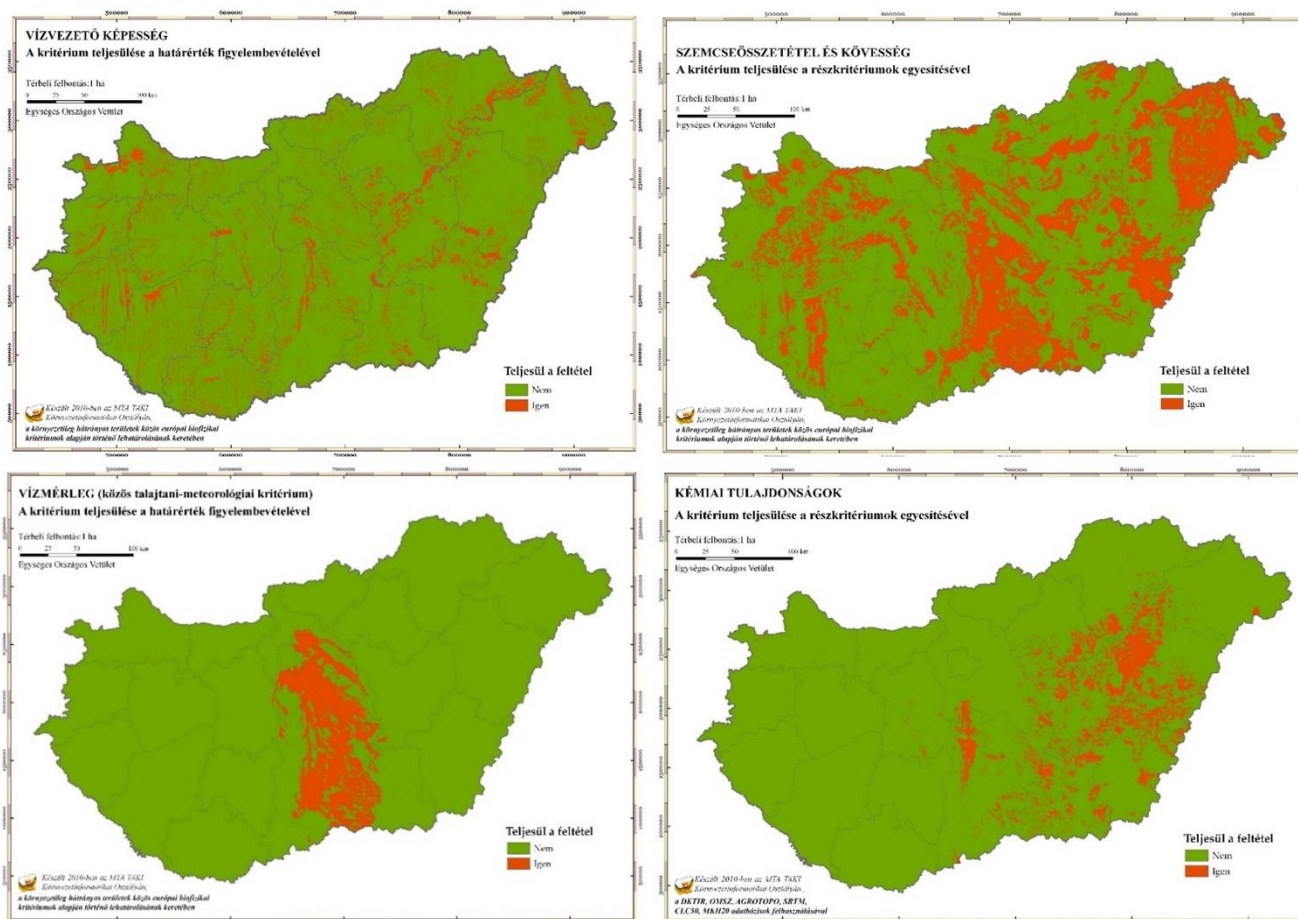
Minden egyes független becslés egy országos fedettségű, 1 ha-os térbeli felbontású [0,1] intervallumra leképezett kétdimenziós valószínűségi eloszlás térképet generált. Egy-egy kritérium teljesülésének térbeli érvényességét a rá vonatkozó független becslések eredményeinek kombinálásával kaptuk meg. Az egyes rész becslés térképeket megbízhatóságuk alapján súlyozva összegeztük, ezzel előállítva kritériumonként egy egyesített teljesülési



dc 1576\_18

valószínűségi térképet. Ezen térképek lekérdezése szolgáltatja az adott kritériumra vonatkozó eredmény térképet; a  $P(\text{kritérium teljesülése, } x) \geq \frac{1}{2}$  valószínűségű cellákat a THÉT kritériumot kielégítőként kategorizáltuk és vice versa (3.3 ábra).

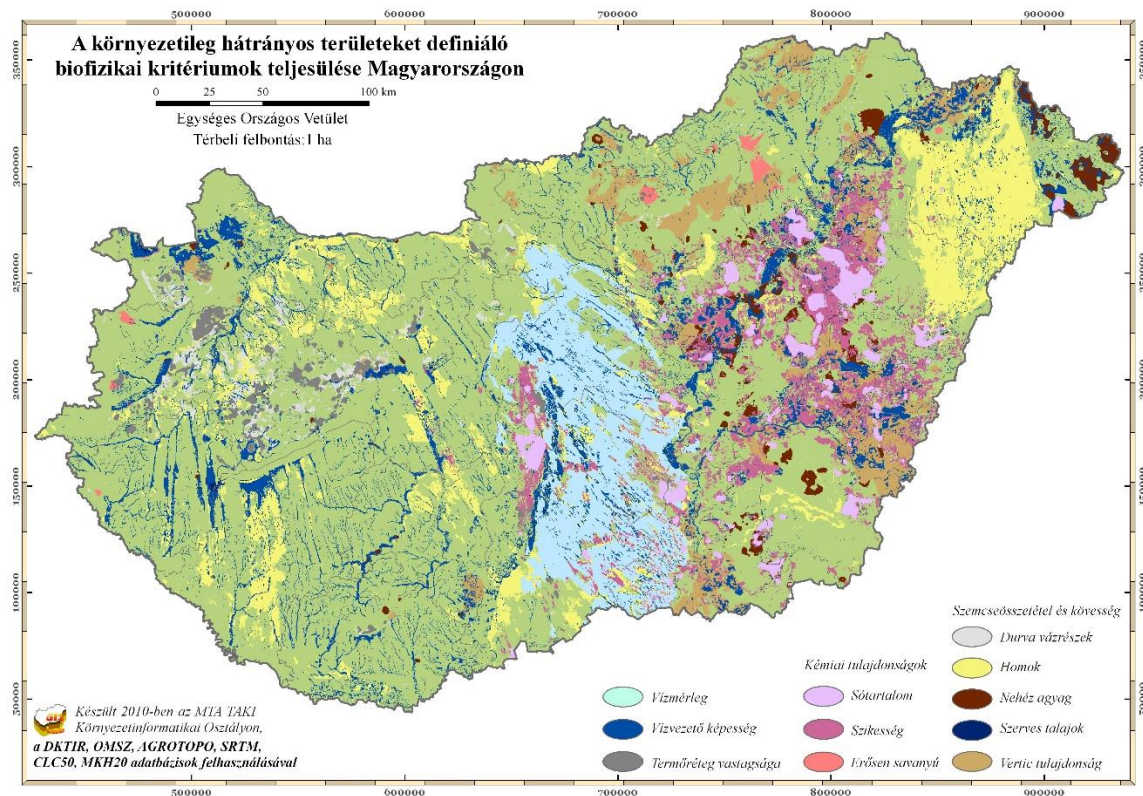
A tudományos alapon definiált kritériumok teljesülési térképei szolgáltatták a THÉT területek biofizikai alapjait (3.4 ábra). A fent leírtak alapján regionalizált hátrányos talajadottságok mellett a két hátrányos klimatikus jellemző, valamint a 15%-nál meredekebb területek térképei tartoznak ide. A THÉT területek azonban alapvetően adminisztratív területi egységek, ezért hátra volt pár további lépés. Az egyes térképek uniójával előállítani az összes hátrányos jellemzőt egyesítő országos térképet (3.5 ábra), majd ennek metszése a MePAR fizikai blokkokkal. A szintén a THÉT módszertan részét képező ún. 66%-os szabály alapján az a fizikai blokk tekinthető az eredmény szempontjából kedvezőtlen adottságúnak, amelyet az összes hátrányos jellemzőt tartalmazó térkép legalább 66%-os mértékig érintett.



3.4. ábra Valószínűség teljesülési térkép és a lekérdezése eredményeképpen előálló kritérium teljesülési térkép.

A 2010-es munkálatok kiegészítéseként ajánlást fogalmaztunk meg (Szabó et al. 2010) az európai kritériumrendszer talajsavanyúsággal való kibővítésére, mivel a talajok savanyodása a magyarországi talajdegradáció egyik legfontosabb komponense, közel 1,5 millió ha mezőgazdasági területet érint különböző mértékben. A kiegészítési javaslat megalapozásaként a savanyúság rész-kritérium területi elhatárolására vonatkozóan is végeztünk térképi szimulációt két határérték mellett ( $\text{pH} < 4,5$ , illetve  $\text{pH} < 5,5$ ). Az eredmény térkép validálását a 2.4.2 fejezetben tárgyaltam.

A tagállamokban elvégzett térképi szimulációk 2010-es eredményeinek Bizottság által történt értékelése után a kritériumrendszer több lépésben és szinte minden elemében módosult (Van Orshoven et al. 2014; Terres et al. 2016). Megjelentek (pl. a savanyúságra vonatkozó), eltűntek, átalakultak kritériumok, megváltoztak definíciók, a határértékekre részletesebb és alternatív meghatározások születtek (3.3 táblázat). Megjelent a szigorú mellett a kevésbé szigorú határérték fogalma, amelyeket tulajdonságkombinációk együttes előfordulása esetén kellett figyelembe venni. Ehhez járult az ún. finomhangolás elvégzése és a 66%-os szabály megváltoztatása. 2015-ben a változások figyelembevétele és az időközben átalakult térképezési infrastruktúra (alap- és segédadatok, módszerek, tapasztalat; lásd 4. fejezet) révén megújult alapokon vágtunk bele a hátrányos természeti adottságokkal rendelkező területek lehatárolásába.



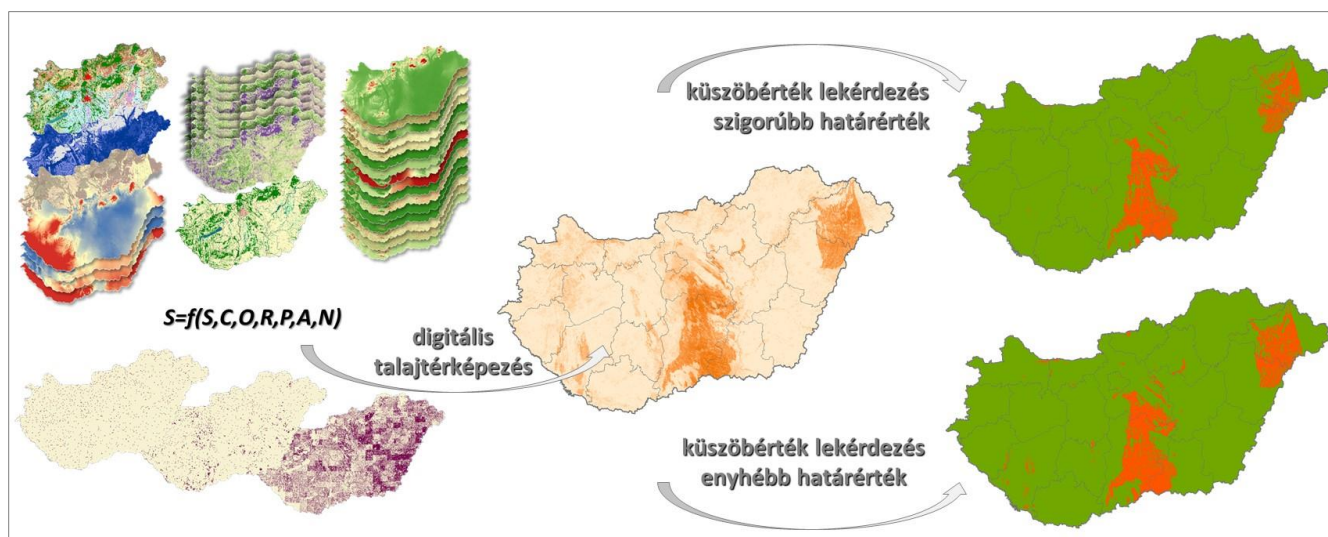
3.5. ábra Az elsőkörös biofizikai kritériumok szerinti lehatárolás összesített eredménye.

Kritérium		Definíció	Szigorú küszöbérték	Enyhébb küszöbérték
Klíma	Alacsony hőmérséklet	Vegetációs periódus hossza; Hőösszeg	≤ 180 nap ≤ 1500 nap °C	≤ 195 nap ≤ 1575 nap °C
	Szárazság	Csapadék/potenciális evapotraspiráció	≤ 0,5	≤ 0,6
Talaj	Korlátozott vízvezető képesség	Az év jelentős részében vízborította területek	80 cm nedves > 6 hónapig, vagy 40 cm > 11 hónapig; Gyengén vagy nagyon gyengén drénezett; Glejes mintázat 40 cm-en belül.	- - -
	Kedvezőtlen szemcsőösszetétel, kövesség	Agyag, iszap, homok, szervesanyag, vagy durva vázrészek relatív nagy részaránya	Feltalajban ≥ 15% durva vázrész; A felső 100 cm legalább felében a homok vagy iszapos homok kumulatív előfordulása; Feltalaj agyagtartalma ≥ 60%; A felső 100 cm legalább 40%-ában a szervesanyag-tartalom ≥ 30%; Feltalaj agyagtartalma ≥ 30% és vertic tulajdonságra utaló jegyek a felső 100 cm-ben.	Feltalajban ≥ 10% durva vázrész; A felső 100 cm legalább 40%-ában a homok vagy iszapos homok kumulatív előfordulása; Feltalaj agyagtartalma ≥ 50%; A felső 100 cm legalább 30%-ában a szervesanyag-tartalom ≥ 30%. -
	Gyökérfejlődési mélység	Talajréteg vastagság	≤ 30 cm	≤ 35 cm
	Talajkémiai tulajdonságok	Magas sótartalom, Magas szódátartalom, Túlzott savanyúság	Feltalaj vezetőképesség ≥ 4dS/m; A felszíntől számított 1 méter legalább felében ESP ≥ 6; Feltalaj pH (H <sub>2</sub> O) ≤ 5	Feltalaj vezetőképesség ≥ 3,2 dS/m; A felszíntől számított 1 méter legalább felében ESP ≥ 4,8; Feltalaj pH (H <sub>2</sub> O) ≤ 5,5.
Integrált: talaj és klíma	Túlzott talajnedvesség	Szabadföldi vízkapacitás feletti napok száma	≥ 230 nap	≥ 210 nap
Domborzat	Kedvezőtlen topográfiai viszonyok	Lejtés	≥ 15%	≥ 12%

3.3. táblázat A természeti hátránnyal érintett területek lehatárolásához kidolgozott kritériumrendszer 2015. évi verziója.



### 3.1.2 Célspecifikusan előállított digitális talajtérképeken alapuló lehatárolás



3.6. ábra Grafikus összefoglaló.

A másodikkörös lehatároláshoz közvetlenül használható kritériumtérképeket a rendelkezésre álló talajinformációk alapján célspecifikus digitális talajtérképezés keretében állítottuk elő. A speciális, diagnosztikus talajjellemzőkre (pl.: vertic tulajdonság megjelenési valószínűsége a felső 100 centiméterben, a durva homok textúra típus kumulatív vastagsága a felső 100 centiméterben) nagy térbeli felbontású, unikális, országos térképeket szerkesztettünk. Fontos kihangsúlyozni, hogy az adott jellemzőkről korábban nem születtek térképi alapú elemzések, főképp nem egyhektáros felbontásban az ország teljes területére vonatkozóan. Ezek közül három előállítását mutatom be kissé részletesebben, ezzel mintegy megalapozva a következő fejezethez.

A megújult kritériumrendszer szerint a homoktartalomra vonatkozó feltétel akkor teljesül, ha a szelvény felső 100 cm-es rétegének legalább a fele homok, vagy homokos vályog textúrájú [numerikusan:  $(\text{iszap}\% + 2 \cdot \text{agyag}\%) \leq 30\%$ ] a FAO textúra háromszög alapján (FAO 2006, Van Orshoven et al. 2014). A TIM adatbázis szemcseméretre vonatkozó mérési eredményeit használtuk fel. Mivel a FAO textúra háromszög és a TIM szemcseméret kategóriáinak határa eltérő, a TIM adatokat log lineáris interpoláció (Nemes et al. 1999) segítségével konvertáltuk a FAO textúra háromszögnek megfelelő szemcseméret kategóriákba. Az  $(\text{iszap}\% + 2 \cdot \text{agyag}\%) \leq 30\%$  kritérium teljesülését rétegenként ellenőriztük, majd az eredményeket összegeztük a felső 100 cm-re vonatkozóan, melynek eredményeképpen megkaptuk a TIM szelvényekben a durvának tekintett textúra felső 1 méterre vonatkozó kumulatív vastagságát.

A vertic kritériumot általánosságban mindazon talajszelvények kielégítik, melyek a WRB talajrendszerében „Vertisol”-ként azonosíthatók, vagy vertic szinttel, vagy vertic talajtulajdonsággal rendelkeznek a felszíntől számított 100 cm-en belül. A vertic tulajdonság előfordulása közvetlenül nem mérhető, előfordulásának következményei a terepen észlelhetők. A vertic tulajdonság diagnosztikusan ék alakú talaj aggregátumok, csúszási tükör és duzzadási-összehúzódási törések formájában jelenik meg, mely leginkább a magas agyagtartalmú talajokra jellemző. Az azonosítás érdekében a DKTIR terepi szelvényleírásaira támaszkodtunk a diagnosztikus jegyek felső 100 cm-es rétegében való előfordulását vizsgálva. Azokat a talajszinteket választottuk ki, melyek (i) vastagsága legalább 15 cm, (ii) felső határa a felszíntől számított 100 cm-en belül található, (iii) az adott talajrétegben a helyszíni, vagy laboratóriumi vizsgálatok során meghatározott fizikai talajféleség agyag, és (iv) szerkezetük leírásában „repedésszerű” szerepel. A térképezéshez létrehoztunk egy bináris paramétert, amely a vertic tulajdonságra vonatkozó jegyek előfordulásakor 1-es értéket vett fel, míg minden egyéb esetben 0-t. A térbeli kiterjesztés eredménye a vertic tulajdonság előfordulási valószínűségét becslő folytonos változó. Az eredmény az indikátor krigelt térképekkel analóg, az interpoláció azonban segédváltozókat használó regresszió krigeléssel történt.

A szikesedési kritériumot a talajok elektromos vezetőképessége alapján határozták meg, ott teljesül, ahol a feltalaj vezetőképessége  $\geq 4$  dS/m. A rendelkezésre álló adatbázisok nem tartalmaznak közvetlenül mért, elektromos vezetőképességre vonatkozó adatot, ezért ezt a paramétert a talajtani alapvizsgálatokba tartozó összes oldott sótartalom és a telített talajpaszta víztartalma alapján becsültük Filep és Wafi (1993) módszere szerint. A számításához alapvetően a MARTHA adatbázis adatait használtuk. A MARTHA országos lefedettsége azonban nem egyenletes, ezért a DKTIR adatbázisból kiegészítettük olyan pontokkal, amelyeknél a rendelkezésre álló adatok alapján biztosra vehető, hogy a sótartalom értéke 0. Az elektromos vezetőképesség becslését a feltalaj 0-30 cm-

es vastagságára végeztük el. Azokban a szelvényekben, melyekben a 0-30 cm-es mélységközt több minta reprezentálta, a vastagsággal súlyozott átlagokkal számoltunk.

A pontszerű talajadatok térbeli kiterjesztése olyan digitális talajtérképezési környezetben történt, amelynek részletesebb ismertetésére a következő fejezetben kerül sor, így itt csak vázolóan annak menetét. Az adott térképezendő talajtulajdonságot meghatározó talajképző tényezőket reprezentáló környezeti segédváltozókat alkalmaztunk (3.4 táblázat). A domborzati viszonyokat az EU-DEM domborzatmodell (Bashfeld & Keim 2011) és annak deriváltjai képviselték, melyek a lefolyási viszonyokról és a mikroklimáról is hordoznak információt. A felszínborítás, növényzet és a csupasz talajfelszín állapotáról tavaszi, illetve őszi időszakból származó MODIS felvételek vörös és infravörös sávjai, illetve az ezekből számított NDVI index szolgáltatott információt. Az éghajlati viszonyokat jellemző meteorológiai paraméterek közül az átlagos évi középhőmérséklet, évi csapadékmennyiség, tényleges párolgás és evapotranszpiráció vonatkozó klimatikus térképek (Szentimrey & Bihari 2010) szerepeltek a modellezésben. Ezekon kívül az 1:50.000-es CORINE Land Cover-t (CLC50; Büttner et al. 2012), Magyarország 1:100.000-es fedett földtani térképét (FDT100; Gyalog & Síkhegyi 2005), a DKTIR fizikai és kémiai tulajdonságokra vonatkozó feltérképét és Magyarország új genetikus talajtérképét (Pásztor et al. 2018c) használtuk prediktorként.

A környezeti segédváltozókat az előkészítés során közös vetületi rendszerbe és 100 m-es felbontásra transzformáltuk. A vektoros állományokat a raszteres segédváltozókhoz illeszkedő 100 m-es grid formátumra raszterizáltuk. A kategória térképek indikátor változóként kerültek felhasználásra. A környezeti segédváltozók információszolgáltatását főkomponens analízissel optimalizáltuk, az együttesen a variancia 99%-át magyarázó főkomponenseket használtuk.

A térbeli kiterjesztést regresszió krigeléssel (RK; Hengl et al. 2007) végeztük. A becslés pontosságának ellenőrzését Leave-One-Out Cross Validation (LOOCV) keresztvalidációs módszerrel végeztük (Stone 1974), melynek során meghatároztuk az átlagos hibát (ME), az átlagos abszolút hibát (MAE), az átlagos négyzetgyök hibát (RMSE) és a normalizált átlagos négyzetgyök hibát (RMNSE). Az ME és az RMNSE várható értéke 0, illetve 1, a MAE és az RMSE alacsonyabb értéke pontosabb becslést jelez. A vertic tulajdonság esetében készült valószínűségi térkép validálása koincidencia mátrix segítségével történt.

	homoktartalom	vertic tulajdonság	sótartalom
domborzat	tengerszint feletti magasság, lejtőszög, többszörös felbontású hegyhát index, többszörös felbontású völgytalp index	kitettség, topográfiai nedvesség index, SAGA <sup>6</sup> nedvesség index, többszörös felbontású hegyhát index, többszörös felbontású völgytalp index, napi anizotrópikus melegítés	SAGA nedvesség index, többszörös felbontású hegyhát index, többszörös felbontású völgytalp index
éghajlat	éves átlagos csapadékösszeg, tényleges párolgás, evapotranszpiráció	átlagos évi középhőmérséklet, átlagos éves csapadékösszeg, tényleges párolgás, evapotranszpiráció	átlagos éves csapadékösszeg, tényleges párolgás
műholdas adatok	NDVI, infravörös sáv (tavasz)	NDVI, vörös és infravörös sáv (tavaszi és őszi)	NDVI (őszi)
felszínborítás	szántók, erdők	–	legelő, ritkás növényzet
geológia	futóhomok	–	–
talajfizika	igen nagy vízvezetőképességű és gyenge víztartó képességű talajok	jó vízvezetőképességű és jó víztartó képességű talajok, síkesekek, köves, kavicsos talajok	szikes talajok
talajkémia	–	–	túlnyomóan semleges vagy gyengén lúgos, mésszel telített talajok
genetikus főtípus	–	–	szikes talajok

3.4. táblázat A három kritérium változó modellezéséhez alkalmazott környezeti segédváltozók.

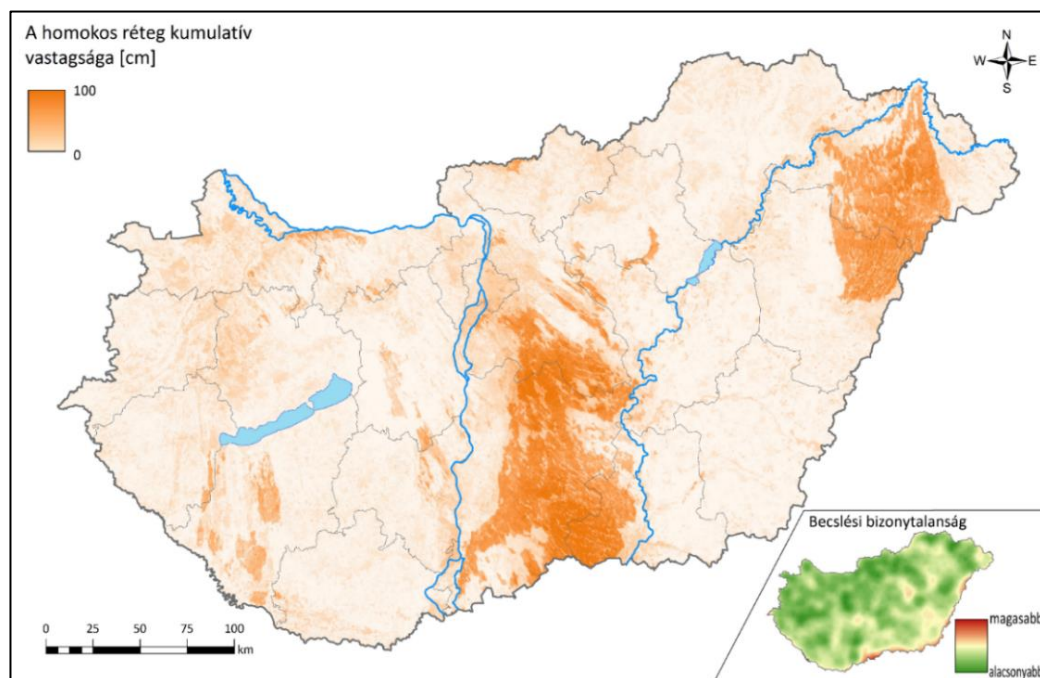
	homoktartalom	sótartalom			vertic tulajdonság	
ME	-0,003	0,010			becsült	
MAE	12,478	0,850			igen (1)	nem (0)
RMSE	19,853	1,430			igen (1)	34,8%
RMNSE	1,094	0,935			nem (0)	1,8%
						62,2%

3.5. táblázat A tárgyalta három térképi becslés validációjának eredményei.

<sup>6</sup> SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses (Conrad et al. 2015)

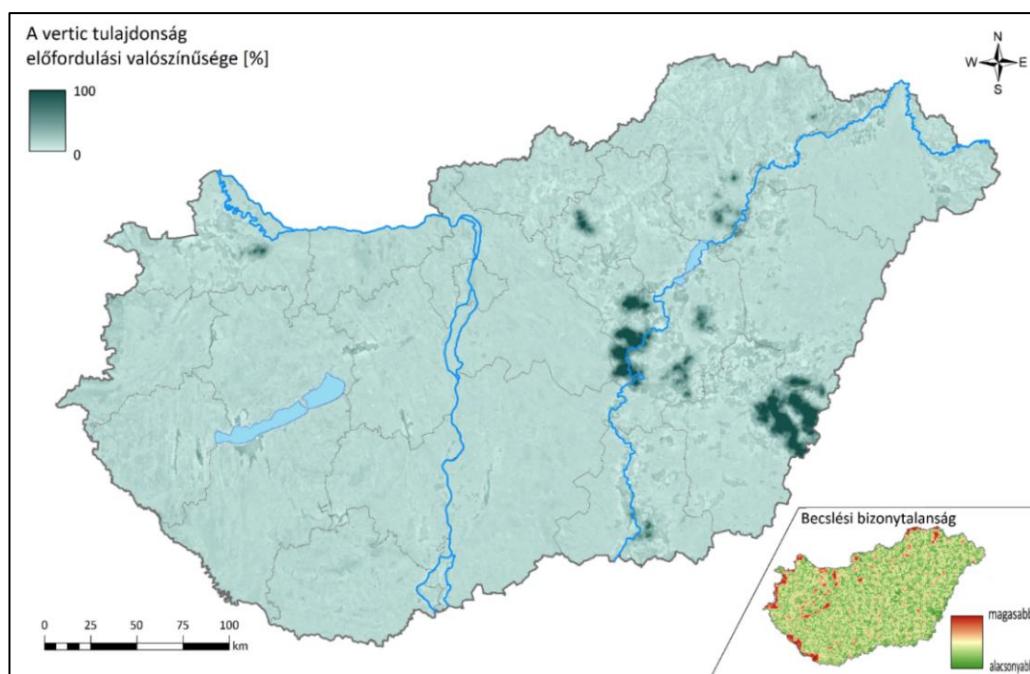
dc\_1576\_18

A talaj felső 100 centiméteres rétegében a homokos réteg kumulatív vastagságára vonatkozó térkép a 3.7 ábrán látható, melyen jól kirajzolódnak hazánk homokterületei, melyeken a modell vastagabb kumulatív homokréteget becsül. A becslés átlagos abszolút hibája 12 cm (3.5 táblázat).



3.7. ábra A homokos réteg kumulatív vastagságának térbeli becslése a talaj felső 100 cm-ében.

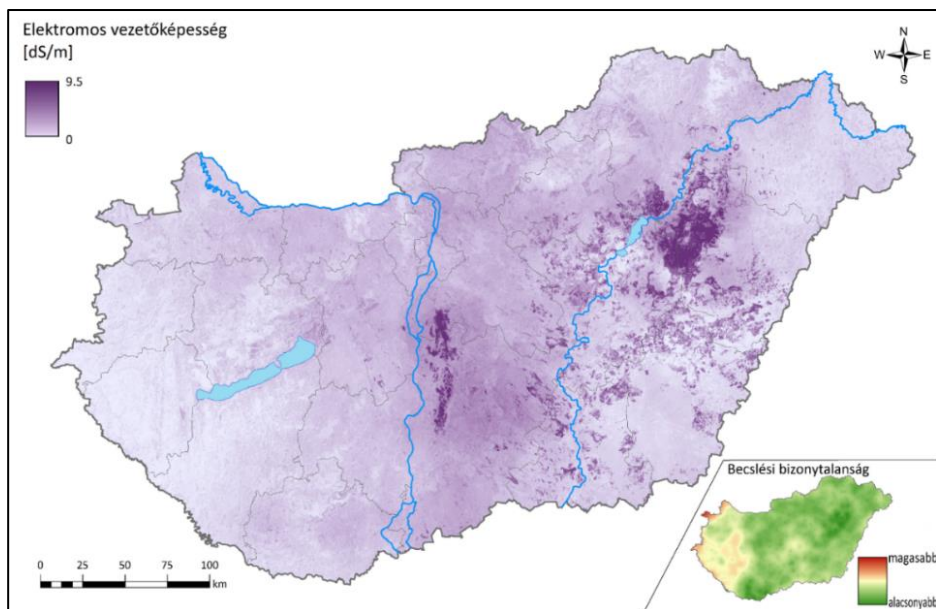
A vertic tulajdonság megjelenésére vonatkozó valószínűségi térkép az 3.8 ábrán látható. A nagyobb előfordulási valószínűséggel jellemzett területek egybeesnek a mélyfekvésű, folyóvízi üledékkel borított térségekkel, ahol a belvízi elöntés is gyakori. A valószínűségi térképen a 0,66-nál magasabb érték esetében tekintettük bizonyítottnak a vertic tulajdonság előfordulását. A validálás során ez esetben a becsült valószínűségi értékek és az eredeti észlelések bináris paramétereit hasonlítottuk össze (3.5 táblázat).



3.8. ábra A vertic tulajdonság becsült előfordulási valószínűsége a talaj felső 100 cm-ében.

A talajok sótartalmát jellemző elektromos vezetőképesség térképezésének eredménye a 3.9 ábrán látható. A magas elektromos vezetőképességű térségek térben jó egyezést mutatnak az országban található szikes területekkel. A validáció alapján megállapítható, hogy a modell kissé felülbecsül (ME), de a becslés elfogadható, mivel a MAE és az RMSE értékek viszonylag alacsonyak és nem érik el az értékkészlet 10%-át (3.5 táblázat). A térképek lokális bizonytalanságának térbeli becslése a melléktérképeken látható.





3.9. ábra A feltalaj elektromos vezetőképességének becslése.

A második körös lehatárolási feladathoz a fent bemutatotthoz hasonló módon minden talajos kritériumra előállítottuk azokat a finom térbeli felbontású talajtulajdonság térképeket, amelyek révén egy-egy lekérdezés eredményeképpen beazonosíthatók azon területek, melyeken a szigorúbb, illetve az ún. enyhébb feltétel<sup>7</sup> teljesül (3.10 ábra).

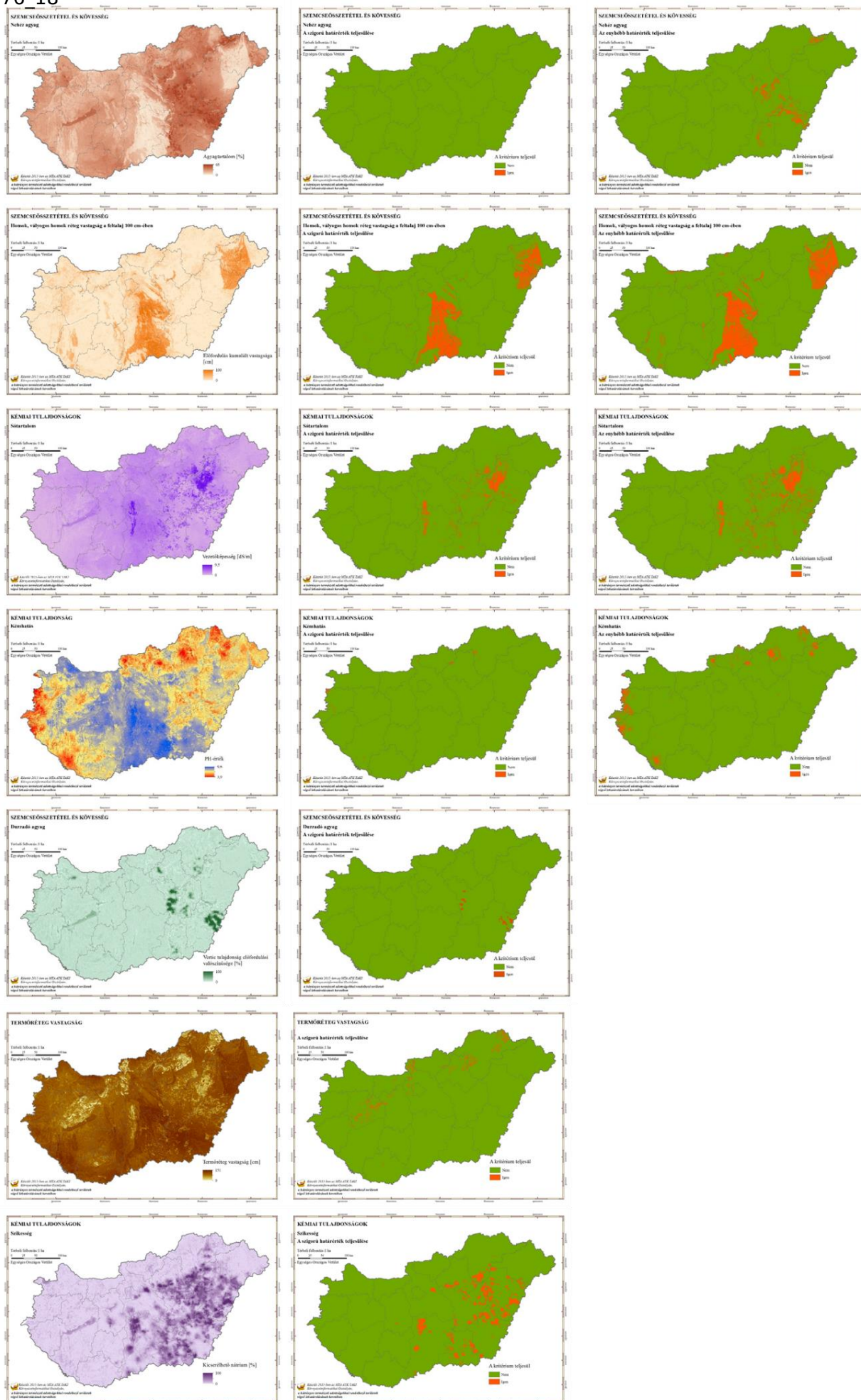
Mindez megkönnyítette a keresztfeltételek együttes előfordulásának térbeli azonosítását, még ha ezen, ún. negatív szinergiában álló területek kiterjedése a 3.6 táblázat tanúsága szerint nem is jelentős. A keresztfeltételek közül éppen ezért a legnagyobb területi érintettségűt mutatom be (3.11 ábra), ahol ugyan csak az egyik komponens közvetlenül talajtani jellegű, a szárazságra vonatkozó másik csak közvetetten az, a számítási menetében épít bizonyos talajjellemzőkre.

Potenciális terület [ha]	homok rész-kritérium	nehéz agyag rész-kritérium	termőréteg vastagság kritérium	sótartalom rész-kritérium	savanyúság rész-kritérium	lejtés kritérium
szárazság kritérium	20.608	13	14.665	431	–	23.785
	homok rész-kritérium	–	0	3.345	–	–
		nehéz agyag rész-kritérium	0	311	1.504	–
			termőréteg vastagság kritérium	17	–	870
				sótartalom rész-kritérium	–	–
					savanyúság rész-kritérium	–
						lejtés kritérium

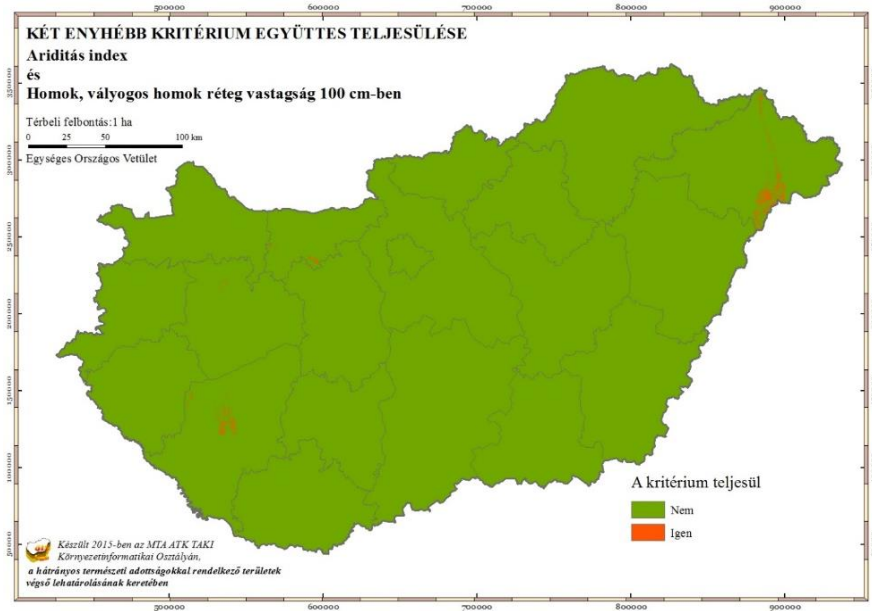
3.6. táblázat Az ún. negatív szinergiájú kritériumok együttes előfordulásának területi arányai az enyhébb határértékek szerinti lekérdezésének eredményeinek összemetszése alapján.

Az első körhöz hasonlóan a tudományos alapon definiált kritériumok teljesülési térképei szolgáltatták a THÉT területek biofizikai alapjait, melyekből a szigorú feltételek, illetve a negatív szinergiájú kombinációk szerinti térképek uniójával állt elő az összes hátrányos jellemzőt egyesítő országos térkép (3.12 ábra). Az egyes biofizikai tényezők teljesülésének területi adatait 3.7 táblázat tartalmazza. A biofizikai kritériumok alapján történő terület lehatárolást az ún. finomhangolásnak nevezett művelet követte, melynek során az egyes biofizikai kritériumokat megfelelő termelés-specifikus mutatókkal kellett kombinálni. Itt azonban befejezem a munkálatok ismertetését, mivel az ezekre vonatkozó adatok gyűjtése és azok regionalizálása nem illeszkedik jelen dolgozat tematikájába.

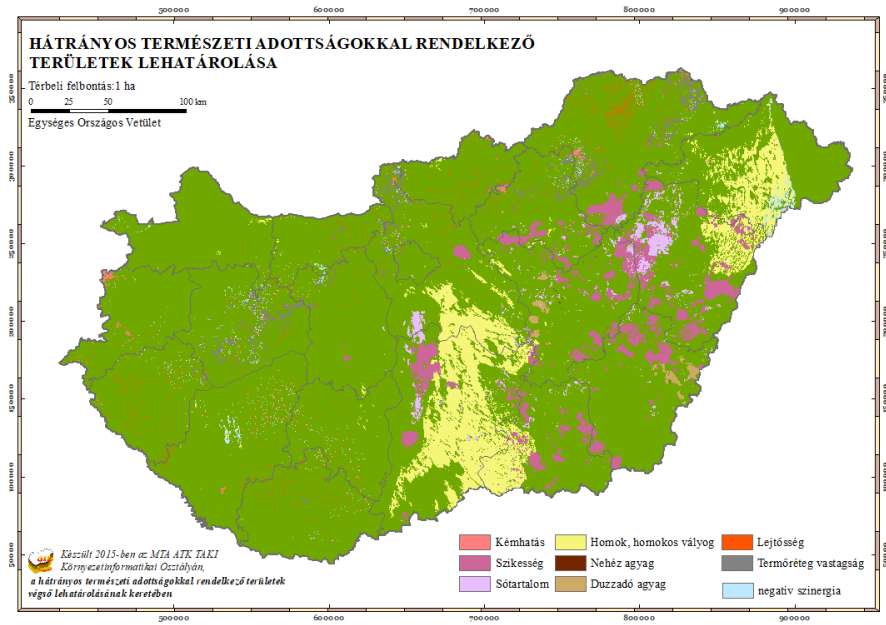
<sup>7</sup> Az enyhébb feltétel bevezetése mögött a következő koncepció áll. Ha egy adott helyen két gátló feltétel is határérték közelébe, de egyenként egyikük sem haladja azt meg, olyan ún. negatív szinergiát alakíthatnak, amely együttesen már komoly korlátja lehet a mezőgazdasági tevékenységnek. Ezért a kritériumok többségére meghatároztak egy enyhébb határértéket, illetve megjelölték azokat a kritérium kombinációkat (összesen 25-öt), amelyek együttes teljesülése az egyedi kritériumok szigorúbb teljesülésével azonos elbánás alá esik.



3.10. ábra Egyes kritériumok lekérdezéséhez előállított célspecifikus talajtulajdonság térképek és azok határértékek szerinti lekérdezésének eredményei.



3.11. ábra. A durva textúrára és a szárazságra vonatkozó enyhébb kritériumok együttes előfordulása.



3.12. ábra. A hátrányos természeti adottságok biofizikai lehatárolásának összesített eredménye a szárazság kritérium figyelmen kívül hagyásával.

Kritérium	Szigorú teljesülés	Enyhített teljesülés
	Potenciális terület [ha]	
Korlátozott vízvezető képesség (Limited Soil Drainage)	nem becsülhető a rendelkezésre álló adatok alapján	
Szemcseösszetétel, kövesség (Texture and Stoniness)	798.869	1.174.533
Szemcseösszetétel, kövesség homok rész-kritérium	769.860	1.022.909
Szemcseösszetétel, kövesség nehéz agyag rész-kritérium	815	151.624
Szemcseösszetétel, kövesség vertic tulajdonság rész-kritérium	28.194	–
Termőréteg vastagság (Rooting depth)	102.570	138.688
Kémiai tulajdonságok (Chemical properties)	650.446	567.055
Kémiai tulajdonságok sórtartalom rész-kritérium	220.344	373.399
Kémiai tulajdonságok szikesség rész-kritérium	412.392	nem becsülhető a rendelkezésre álló adatok alapján
Kémiai tulajdonságok talaj savanyúság rész-kritérium	17.710	193.656

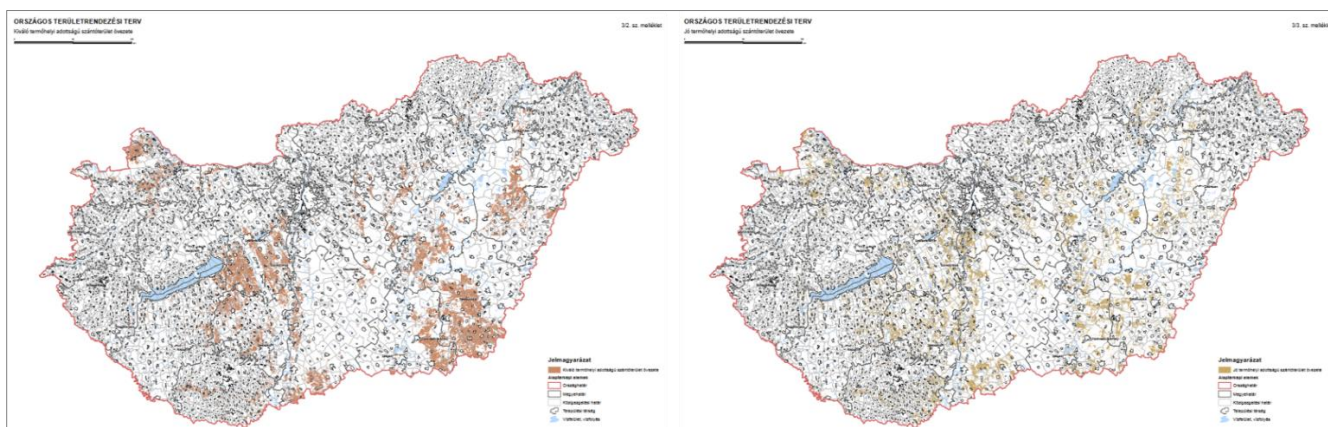
3.7. táblázat A hátrányos természeti adottságok biofizikai lehatárolásának összesített területi eredménye a lejtés és a szárazság kritérium figyelmen kívül hagyásával.



### 3.2 Kiváló és jó termőhelyi adottságú szántóterületek lehatárolása

A kedvezőtlen adottságú területek mintegy ellenpólusát képezik a kiváló, illetve jó termőhelyi adottságú szántóterületek, melyek fogalmát az Országos Területrendezési Terv (OTrT) használja, és a következőképpen definiálja: „az országos területrendezési tervben megállapított, kiemelt térségi és megyei területrendezési tervekben alkalmazott övezet, amelybe kiváló (illetve jó) növénytermesztési feltételekkel rendelkező szántóterületek tartoznak” (3.13. ábra). A kiváló, illetve jó termőhelyi adottságot azonban tovább nem specifikálja, így lehatárolásuk elvégzése lényegében a talajok termőképességének regionalizálására vezetendő vissza (Mueller et al. 2010;). Mindemellett az OTrT 2012. utáni megújítása szándékai szerint már a kezdetektől olyan területi lehatárolásokat tűzött ki célul, amelyek a korábbiaknál harmonikusabb átmenetet jelentenek a nagyobb felbontású megyei és települési szint felé. Amikor tehát felmerül az adott típusú területek térbeli azonosítása, lehatárolása, a fejezet bevezetőjében említett háromszintű probléma megoldásának kell nekiveselkedni. A térbeli lehatárolásra több módszertani lehetőség is adódik.

1. A termőhelyi minőséget országosan megjelenítő térkép (aranykorona, talajértékszám) használata, esetleg nagyobb térbeli felbontás érdekében dezaggregált verziójának előállítása.
2. Nagy felbontású talajtulajdonság térképek termőhelyi minőséget meghatározó pontozásos értékelése szakértői becslés alapján.
3. A természeti hátrányokhoz hasonlatos kritériumrendszer kidolgozása, a termőhelyi minőség talaj és klimatikus jellemzőkhöz kötése és a jó, illetve kiváló voltának határértékekhez való rögzítése.
4. Valós, vagy megfelelően modellezett terméseredmények felhasználása a termőhely adottságainak integrált becslésére.



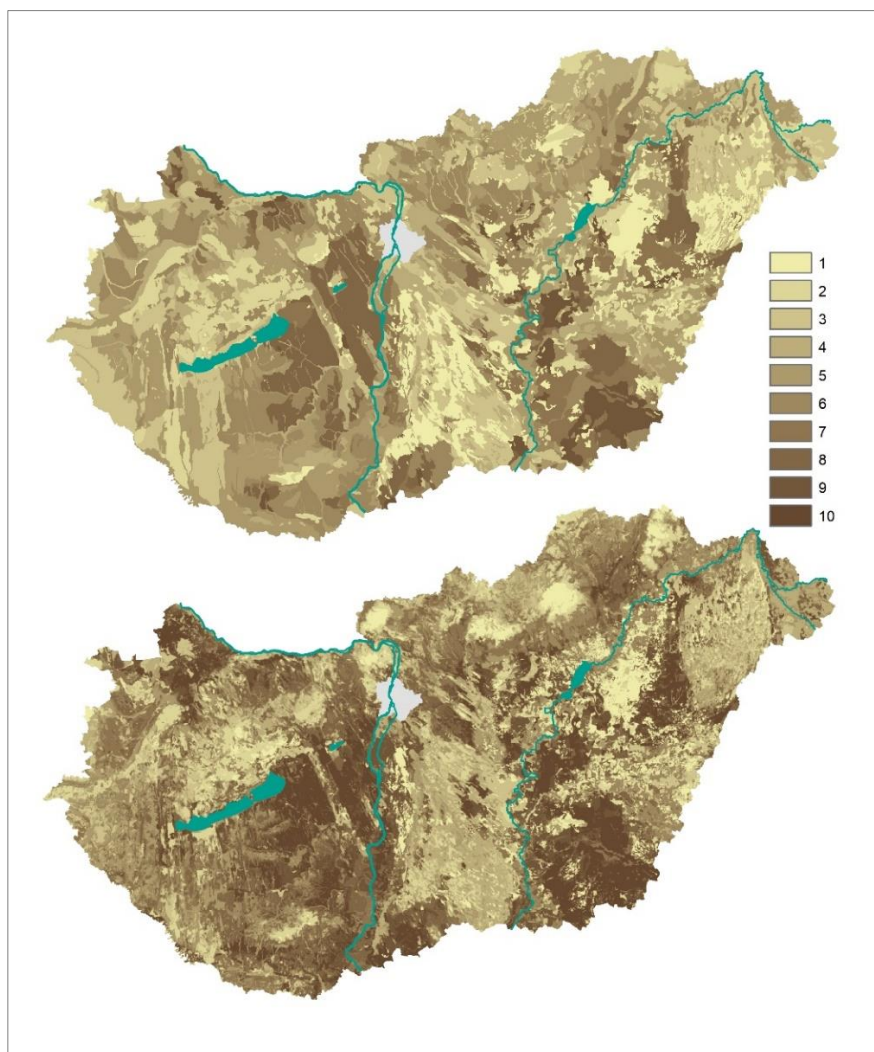
3.13. ábra. Kiváló, illetve jó termőhelyi adottságú szántóterületek övezetei az Országos Területrendezési Terv szerint (forrás: <http://www.terport.hu/teruletrendezes/teruletrendezesi-tervek/magyarorszag>).

#### 3.2.1 Talajbontációs térkép dezaggregálása

Az aranykorona definíciójából ("A föld tiszta jövedelmének vétetik a közönséges gazdálkodás mellett tartósan nyerhető középtermésnek értéke, levonva belőle a gazdálkodási rendes költségeket") adódóan a termőföld termőképességének (közgazdasági meghatározottságú) indikátora. Sok szempontból túlhaladott mérőszám azonban, amellyel szemben számos kritikai érv fogalmazódott meg az elmúlt évtizedekben. A már akkor elavultnak tekintett aranykorona rendszer kiváltására született meg a százpontos talajbontációs rendszer (Fórizsné et al. 1972), amely a genetikai talajosztályozás egységeinek pontozásos értékelése útján egy általános termékenységet fejez ki. Az értékelés alapját eredendően a nagyméretarányú talajtérképek képviselték. Magyarország agroökológiai potenciáljának '70-es években történt felmérése során azonban megszületett egy országos térkép (Várallyay et al. 1979, 1980), amely a százpontos értékelés tízosztályos változatával írja le a hazai talajtakaró termékenységet és az AGROTOPO adatbázis egyik rétegét alkotja. A DKTIR országos állományának létrejötte természetesen sugallta a gondolatot, hogy a kiváló és jó termőhelyi adottságú szántóterületek országos léptékű lehatárolásához jól alkalmazható eszközt adhat az AGROTOPO talajértékszám kategória térkép megfelelő módon elvégzett dezaggregálása (Pásztor et al. 2013d), a 2.5.2 fejezetben bemutatott módszertan szerint.

A feladat elvégzéséhez szükséges segédváltozóként az SRTM digitális domborzatmodellt (Rabus et al. 2003) és a DKTIR talajtérképi egységeit használtuk. A DDM-ből a következő elsődleges, illetve másodlagos paramétereket származtattuk: tengerszint feletti magasság, LS faktor (Wischmeier & Smith 1978), topográfiai pozíció index (500 m, illetve 2000 m-rel paraméterezve) és relatív magasság. A talajokat öt szempont alapján jellemeztük. Vízgazdálkodási, kémiai tulajdonságaik, sekély termőréteg vastagságuk, illetve tájtermesztési besorolásuk a DKTIR talajfoltjainak attribútumai. A szervesanyag-tartalomra vonatkozóan a DKTIR talajszelvény adatbázisának

felhasználásával készítettünk regresszió krigeléssel országos szerves anyag térképet (lásd 4. fejezet). Az elemzéshez 100 méteres cellaméretet használtunk. A vektoros állományokat az így definiált referencia rácsra vonatkoztatva alakítottuk raszterekké. Az AGROTOPO talajértékszám kategóriáiban megjelenő modellezési szabályokat 30.000, véletlenszerűen, de bizonyos peremfeltételek szerint elszórt virtuális mintavételi pontban<sup>8</sup> próbáltuk értelmezni a segédváltozók alapján. Kitétel volt, hogy az AGROTOPO minden térképi egységébe legalább egy mintavételi pont essen, illetve, hogy két szomszédos pont távolsága legalább 200 méter (a modellezésben használt pixel méret kétszerese) legyen. A döntési fa algoritmusban a talajértékszám kategória jelentette az osztályozandó, függő változót, a környezeti segédadatok pedig a független prediktor változók halmazát. Az osztályozást különböző paraméterezéssel végeztük. Az osztályozás eredményeit alkalmaztuk a tanuláshoz használt, teljes területi fedettséget nyújtó, nagy térbeli felbontású fedvényekre. A pixel alapú kategorizálás eredményeképpen állt elő a célul kitűzött leskálázott térkép. A 3.14 ábra megpróbálja szemléltetni azt a térbeli felbontásban történt jelentős javulást, amit a visszaosztályozás utáni térkép szolgáltatott.



3.14. ábra. Az eredeti és a dezaggregált, országos talajértékszám térkép.

### 3.2.2 Talajtulajdonság térképek termőhelyi minőséget meghatározó pontozásos értékelése

A talaj produktivitás értékelésének hagyományos módját képviselik, a fent említésre került bonitációs rendszerhez hasonló, a termőképességet meghatározó tényezők szakértői ismereteket leképező pontozására épülő módszerek (Máté 1960; Várallyay et al. 1985; Ángyán et al. 1998; Podmaniczky et al. 2007; Tóth et al. 2014; Juhos et al. 2015). Ezekben jellemzően kis természetes számokat rendelnek az elsődleges talajtulajdonságok kategóriáihoz, melyek összesítéseképpen áll elő a talaj produktivitást jellemző indikátor. Az OTrT megújításakor is felmerült ezen közelítés alkalmazása, amit az időközben megszületett országos, digitális talajtulajdonság térképek rendelkezésre állása (lásd következő 4.2 fejezet) tett lehetővé. A munkák koordinálását végző SZIE KTI munkatársai tettek is javaslatot öt alap talajjellemző (fizikai féleség 0-30, illetve 30-60 cm-ben, termőréteg vastagság, szervesanyag-tartalom, valamint kémhatás) pontozásos értékelésére (3.8 táblázat) a korábbi

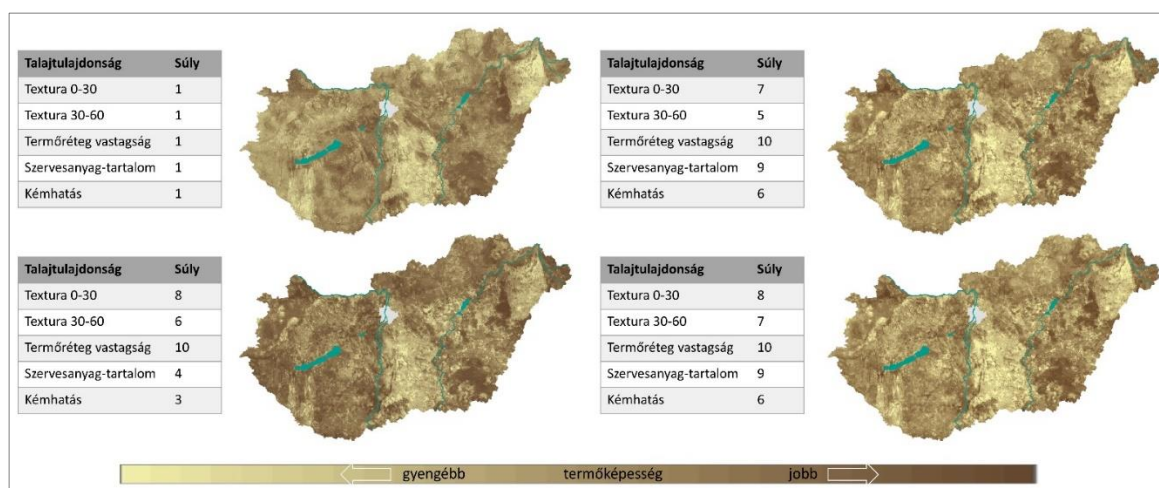
<sup>8</sup> Ennek értékét a rendelkezésre álló számítási kapacitások határozták meg.



tápasztálataik alapján (Ángyán et al. 1998; Magyarai 2005; Podmaniczky et al. 2007), csakúgy, mint az egyes jellemzők szerinti pontozások súlyozáson alapuló összesítésére négy eltérő forgatókönyv szerint (3.15 ábra).

Fizikai féleség	Pontozása 0-30	Pontozása 30-60	Termőréteg vastagsága	Pontozása	Humusz- tartalom 0-30 cm	Pontozása	vizes pH 0-30 cm	Pontozása
homok	5	5	0-20 cm	1	< 1	2	< 4,5	4
vályogos homok	6	6	20-40 cm	3	1-2	4	4,5 – 5,5	6
homokos vályog	7	7	40-60 cm	5	2-3	6	5,5 -6,8	8
iszapos vályog	10	10	60-80 cm	8	3-4	8	6,8 -7,2	10
iszap	10	10	80-100 cm	9	> 4	10	7,2 – 8,5	10
vályog	9	9	> 100 cm	10			8,5 -9,0	4
homokos agyagos vályog	9	9					> 9.0	2
iszapos agyagos vályog	8	8						
agyagos vályog	8	8						
homokos agyag	7	7						
iszapos agyag	6	6						
agyag	4	4						

3.8. táblázat Az OTRT megújításához készült javaslat elsődleges talajtulajdonságok pontozásos értékelésére a talajok termőképességében betöltött szerepük alapján.



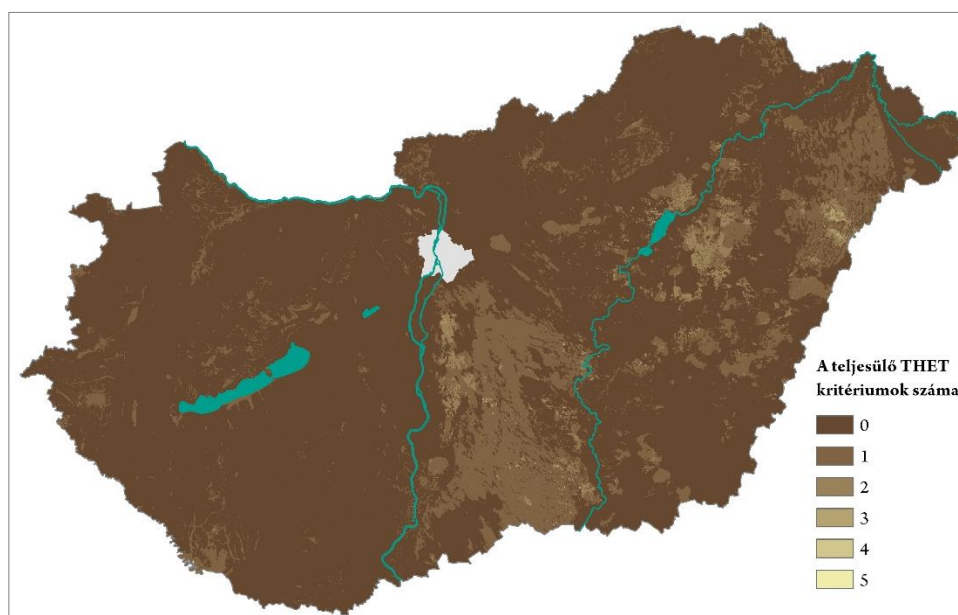
3.15. ábra. A talaj produktivitás öt alap talajtulajdonságon alapuló pontozásos értékelésének eredménye négy eltérő aggregálási forgatókönyv alapján.

Meglátásom szerint a szakértői tudás ilyen módon történő térbeliséte számos kérdést vet fel. (i) Az első kockázatot a pontértékek megválasztása jelenti. A valóság levetítése néhány diszkrét értékre számos fontos hatás és kapcsolat figyelmen kívül hagyásához vezethet. A végtérkép tematikus pontosságára, megbízhatóságára vonatkozó hatása nem becsülhető. (ii) Hasonlóan problematikus a pontértékek aggregálása, ami jellemzően szintén egyszerű műveletek formájában történik, leggyakrabban az egyes pontértékek összegzésével, esetleg súlyozott formában. (iii) Végül, de nem utolsó sorban, a tematikus bizonytalanság hatását a teljes pontosságra nagyon nehéz megjósolni, és ennek becslése nem is szokta a pontozásos módszerek részét képezni.

### 3.2.3 Biofizikai kritériumok felhasználása a termőhelyi minőség értékelésére

A természeti hátrányokkal érintett területek lehatárolási munkálatainak párhuzamossága sugallta egy ahhoz jellegében hasonlatos kritériumrendszer kidolgozását. A termőhelyi minőség talaj és klimatikus jellemzőkhöz kötése és azok jó, illetve kiváló voltának határértékekhez való rögzítése azonban olyan kihívást jelentett, amelyre az adott keretek közt nem álltak rendelkezésre elegendő erőforrások. Mindamellet egy gondolat kísérlet erejéig megvizsgáltam, hogy a THÉT kritériumok összesítése hogyan képezi le az ország talajtakarójának termőhelyi minőségét. A térképek egyhektáros celláira összegeztem, hány szigorú, illetve negatív szinergiában levő páros enyhébb kritérium teljesül. Az aggregálás eredménye a 3.16 ábrán látható. A térképen megfigyelhető mintázat egyik legfőbb jellegzetessége, hogy az a mezőgazdasági termelés szempontjából problémás területeken mutat nagyobb részletességet, a kevésbé problematikus területek között azonban nemigen tesz különbséget. A valóban kiváló, illetve jó termőképességű, illetve a kritériumrendszer által meg nem célzott hegy- és dombvidéki területek egyazon kategóriába esnek. Ebből viszont az alapfeltevés megalapozottságára lehet következtetni. Amennyiben a kritériumrendszer a produktivitás szempontjainak ellentétes, azaz pozitív oldalára vonatkoztatottan tudna

mégfogalmazni jól megalapozott határértékeket, akkor az összesített értékelés alkalmas lehet a legjobb termőképességű területek azonosítására és lehatárolására.



3.16. ábra. A talaj produktivás fordított indikálása a természeti hátrányokra vonatkozó kritériumok integrálásával.

### 3.2.4 Terméseredmények felhasználása a termőhely adottságainak integrált becslésére

A talaj produktivitásának térbeli becslésére vonatkozó, az előzőekben tárgyalt módszerek csak áttételesen építenek közvetlen termésadatokra, amelyek pedig a termőképesség közvetlen indikátorai. A termőhely adottságainak integrált becsléséhez három potenciális forrásból származtathatók terméseredményre vonatkozó referencia információk:

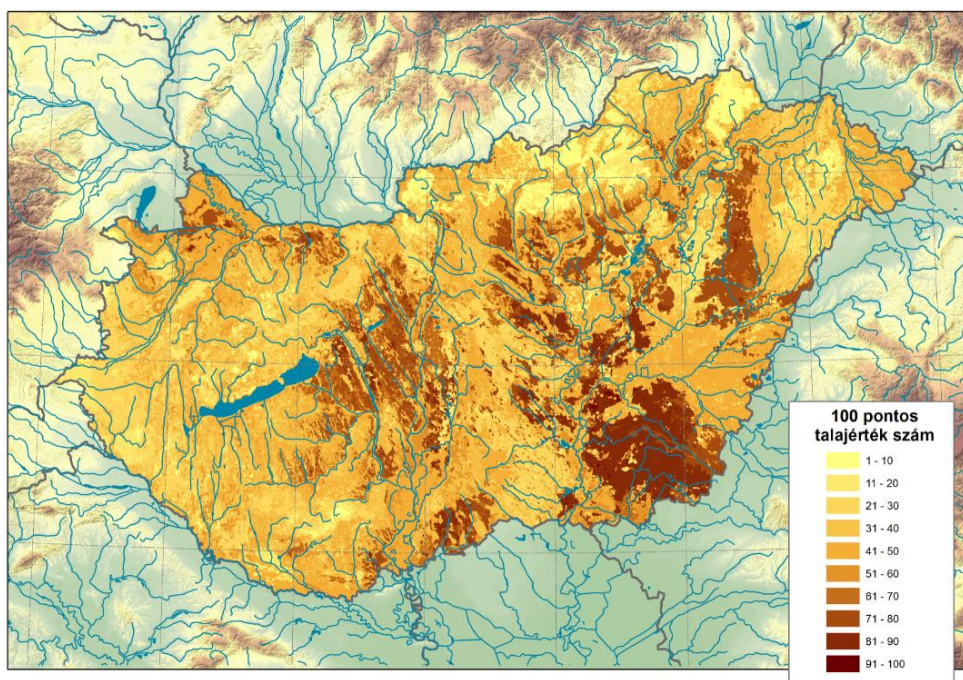
- (i) Idősoros gazdálkodási adatgyűjtés.
- (ii) Távérzékelésen alapuló termésbecslés.
- (iii) A termőhelyen szimulált növény-növekedési modellek.

A 2000-es években kidolgozott D-e-Meter földminősítési és földértékelési rendszer statisztikai vizsgálatokon nyugszik és kvantitatív módon határozza meg a termőhelyek produkciós potenciálját nagy mintaszámú, idősoros növénytermesztési és talajvizsgálati adatok alapján (Tóth et al., 2005; Tóth 2009, 2011). Számos előnye ellenére a D-e-Meter nem épült ki országosan, részben a talajtérképi háttér akkori hiányának köszönhetően. A rendszer ugyanis az 1:10.000-es talajtérképek kartogramjain szereplő információkra építette a földminősítési célú alkalmasság vizsgálatát a kartogramokon feltüntetett talajtulajdonságok termésképzésre gyakorolt hatásának számszerűsítésével. A nagyméretarányú talajtérképek országosan koordinált, digitális feldolgozására azonban nem került sor. A D-e-Meter program adatigényének kielégítése olyan módszertan(ok) kialakítását igényelte, amely(ek) a rendelkezésre álló talajtani információkból képes(ek) előállítani az adott területre vonatkozóan a földértékelési térképezés során el nem készült térképi anyag (eredeti módszertan szerinti) digitális változatát. A DTT keretei közt megalkotott új, digitális talajtulajdonság térképek hozták vissza a D-e-Meter koncepció országos megvalósításának lehetőségét. Ugyanekkor a talajtulajdonságok és a terméseredmények közti kapcsolatok kvantifikálása is új alapokra került. Az összetett kapcsolatrendszer modellezésére Tóth Gergely és Tóth Brigitta 2016-ban adatbányászati módszereket alkalmaztak, melynek első eredménye a Magyarország Nemzeti Atlaszában megjelenő térkép (3.17 ábra), ami a hagyományos százpontos értékelés tízkategóriás formátumában, de új talajtérképi alapokra és módszertanra építve jeleníti meg országosan a talajértékszám (azaz a talaj termőképesség) térbeli eloszlását. Az OTTrT 2015-ös megújításakor azonban a talajproduktivás becslésének az imént bemutatott módszere még nem állt rendelkezésre, így további lehetőségek után kellett néznünk.

Hosszabb távon is perspektivikus referencia információt jelenthetnének a távérzékelésen alapuló termésbecslés eredmények, objektivitásuknak, térinformatikai jellegüknek és a folyamatos gyűjtésük lehetőségének köszönhetően. Ilyen típusú információk a D-e-Meter rendszer kereteit és lehetőségeit is bővítenék<sup>9</sup>. Magyarországon azonban, a biztató kezdetek ellenére sem működik távérzékelési technológián alapuló, országos, operatív termésbecslő rendszer. Az Országos Távérzékeléses Szántóföldi Növénymonitoring és Termésbecslés (NÖVMON) Program 1997. és 2003. közt működött, nyolc gazdaságilag legelterjedtebb fő szántóföldi növény

<sup>9</sup> A megújult D-e-Meter módszertan már épít a távérzékelés által biztosított lehetőségekre, a hozamokra és így a termőképességre vonatkozó közvetett (nem célirányosan interpretált) távérzékelési képi információk formájában.

országos és megyei területének meghatározását, valamint a várható hozamok aratás előtti mérését, termésbecslését végezte az FVM részére ([http://www.fomi.hu/honlap/magyar/Projektek/leirasok/sajt\\_taj\\_NOVMON\\_v03.htm](http://www.fomi.hu/honlap/magyar/Projektek/leirasok/sajt_taj_NOVMON_v03.htm)). A szolgáltatott adatok a gazdasági tervezés döntéseit támogatták. A hét év adatai azonban nem publikusak és a program azóta sem üzemel.



3.17. ábra. Országos talajértékszám térkép a hagyományos százpontos értékelés tíz kategóriás formátumában, de új talajtérképi alapokra és módszertanra építve (Magyarország Nemzeti Atlasza számára készítve).

Végül, de nem utolsó sorban felmerült a termőhelyen szimulált növénynövekedési modellek alkalmazása a produktivitás becslésére a digitális talajtérképezés és az agrometeorológia modellezés ötvöztetésével. Mind közvetlen kapcsolata, mind adatigényének nagyléptékű kielégíthetősége szempontjából, amellyel döntöttünk, hogy egy, a hazai viszonyokra kifejlesztett agrometeorológiai modell által „növesztett” növények kombinált terméseredményeit fogjuk használni. A digitális talajtulajdonság térképek és a 4M agrometeorológia modell (Fodor et al. 2008; Fodor 2012) integrálásával, annak különböző szintjeivel, illetve az ezekből származó lehetőségekkel részletesebben a 4.5.3 fejezetben foglalkozom. Itt csak a kiváló és jó termőhelyi adottságú szántóterületek lehatárolásához kapcsolódó legfontosabb elemeket emelem ki.

A 4M modell alkalmazása átgondolt mérlegelést igénylő szcenáriók mentén történt a gazdálkodási paraméterek és a figyelembe vett vezérnövények megválasztása révén 50 éves meteorológiai idősorok felhasználásával. Az alkalmazott szimulációs növénytermesztési modell meteorológiai adatigényét a CarpatClim adatbázis segítségével elégítettük ki, a talajtani meghajtása négy alap talajtulajdonság (termőréteg vastagság, szervesanyag tartalom, USDA tizenkétszintű besorolás szerinti fizikai féleség a fel- és altalajra vonatkozóan) térbeli referenciával rendelkező adataival történt. A számításokat kukoricára, őszi búzára, őszi árpára, napraforgóra és repcére végeztük el, mivel Magyarországon ez az öt növény adja az összes vetési terület 80-85 százalékát. A 4M modell segítségével kiszámítottuk, hogy ezen növények milyen terméseredményeket adnak intenzív és extenzív műtrágyázási körülmények között. Az intenzív esetben a kukorica, őszi búza, őszi árpa, napraforgó illetve repce 170, 150, 140, 100 illetve 170 kg/ha/év (hatóanyag) nitrogén műtrágyát kapott, az extenzív esetben ezen adagok felét. A terület minősítésének indikátoraként ezek közül végül is az extenzív műtrágyázási forgatókönyvek terméseredményét használtuk. Az egyes növényekre kapott országos terméseredményeket 1-100-as skálára transzformálva normalizáltuk, majd pixelenként gabonaegyenérték alapján alkalmazott súlyokkal összegeztük az öt növényre kapott értékeket így becsülve térben az ország mezőgazdasági potenciálját egyhektáros térbeli felbontással (3.18 ábra). A nagyobb összesített értékekkel jellemzett területek indikálják a potenciálisan jobb minőségű szántóterületeket és értelemszerűen a kisebbek a gyengébbeket.

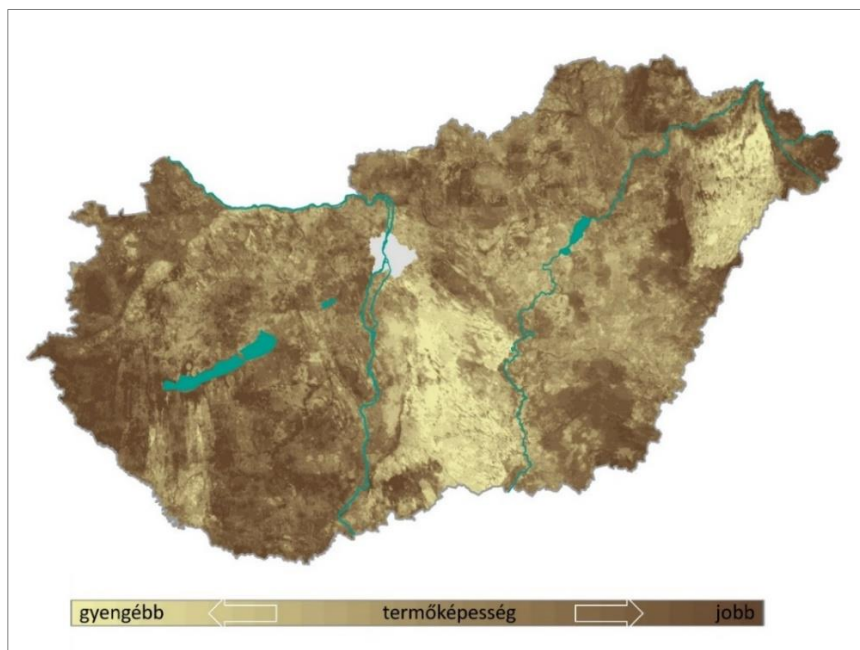
A Kiváló és jó termőhelyi adottságú szántóterületek lehatárolása végül nem közvetlenül a fejezetben bemutatott termőképesség térképek alapján történt az OTTrT 2015-ös megújítása során, aminek két legfőbb oka:

- (i) A zónák kijelölése a korábban kidolgozott ún. ökotípusos földhasználati modell keretei között zajlott (Podmaniczky & Magyarai 2006). Ennek során az agrár-, és erdőtelepítési alkalmasságot, illetve a környezeti érzékenységet függetlenül értékelték és az ennek eredményeként kialakuló, területegységekre vonatkozó kombinációkat ökotípusoknak nevezték, melyek véleményük szerint jól



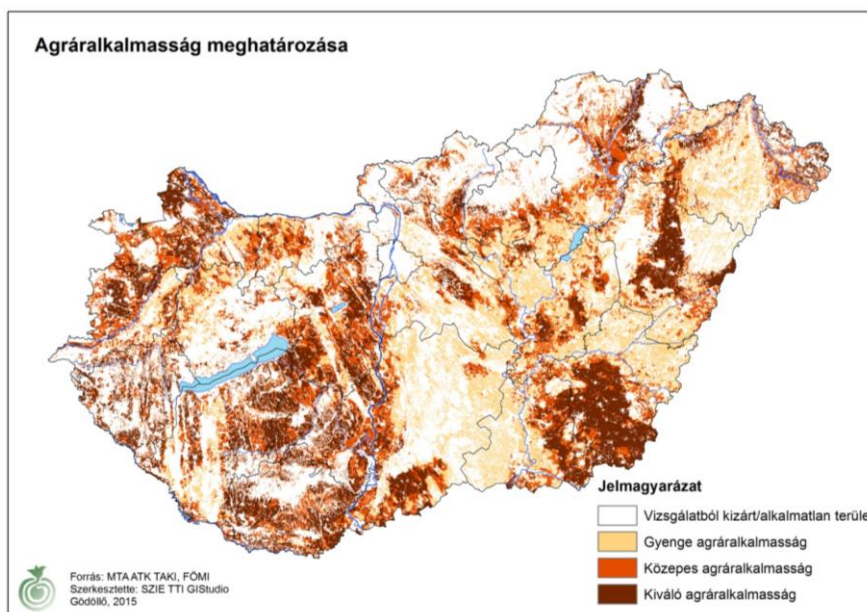
használhatók az aktuális térszerkezet elemzésére és a művelési ág változásokra vonatkozó javaslatok megfogalmazására.

- (ii) A digitális talajtulajdonság térképek és a 4M modell integrálásával kidolgozott módszer segítségével becsült országos talaj produktivitás térkép újdonsága, a vele szembeni bizalmatlanság és a közelítés arra némi okot adó egy-két hiányossága, amelynek lenyomatai a 3.18 ábrán is megfigyelhetők. Ilyen például a nyugat-dunántúli és bizonyos hegyvidéki területek túlértékelése, ami a csapadék modellen belüli túlzott szerepére utal.



3.18. ábra. A digitális talajtulajdonság térképek és a 4M agrometeorológia modell integrálásával kidolgozott módszer segítségével becsült, országos talaj produktivitás térkép.

Az agrometeorológiai modellezésen alapuló termőképesség térkép a szántó területekre vonatkoztatva azonban megfelelő alapot nyújtott az ún. agráralkalmassági tényezőhöz (3.19 ábra), amelyet a belvízre és a lejtésre korrigálva, illetve egyszerűsített kategóriarendszerrel alkalmaztak az ökotípusok lehatárolásához.



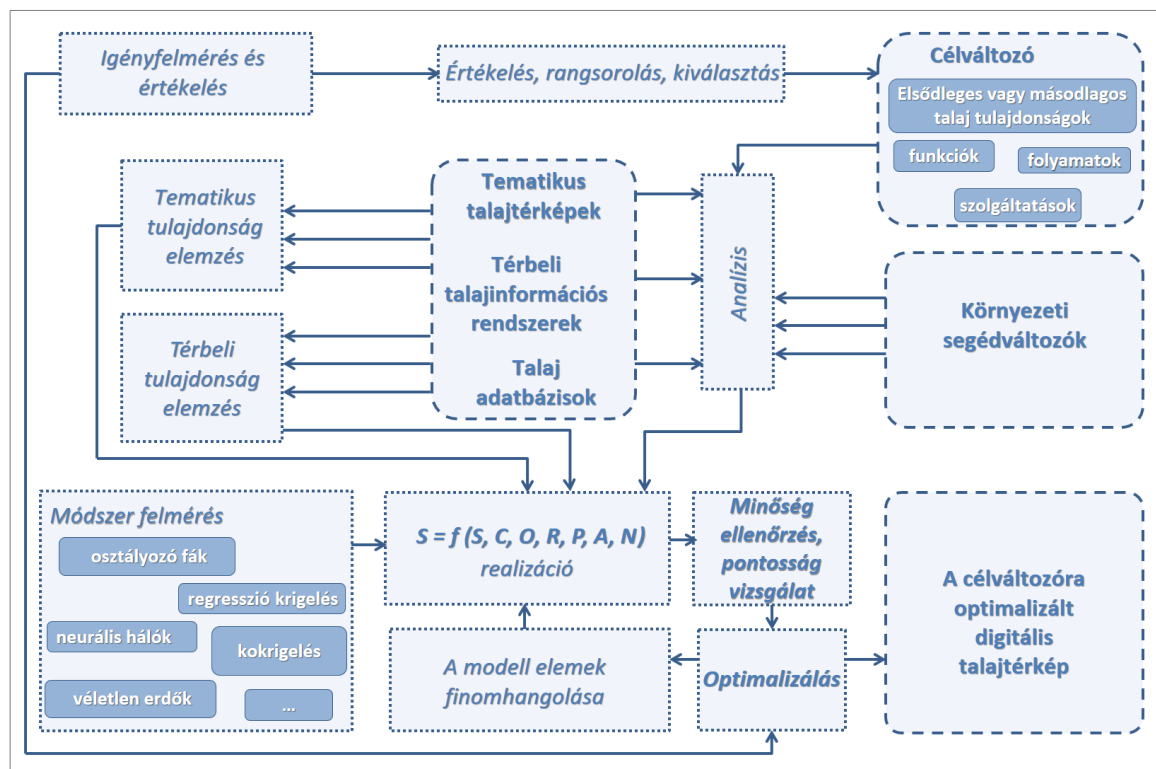
3.19. ábra. A digitális talajtulajdonság térképek és a 4M agrometeorológia modell integrálásával kidolgozott módszer segítségével becsült országos talaj produktivitás térképből levezett ún. agráralkalmasság térkép az ökotípusok meghatározásához (forrás: Podmaniczky et al. 2015).

#### 4 A hazai térbeli talajinformációk előállításának és szolgáltatásának megújítása

2012-ben egy OTKA pályázatot nyújtottam be, melynek fő célkitűzése a hazai és nemzetközi igényeket optimálisan kielégítő, országos léptékű, digitális, tematikus talajtérképek előállítása volt. Alapfeltevésünk szerint kvantitatív (klasszikus matematikai statisztikai, geostatisztikai, adatbányászati és térinformatikai elemeket ötvöző) módszerekkel feltárhatók és a digitális talajtérképezés számára formalizálhatók:

- a Magyarországon a különböző talajtani felvételezések, térképezések során gyűjtött adatok belső,
- az ezekből a szakértői tudás alapján szerkesztett térképek térbeli és
- ezeknek, a talajok keletkezésében és folyamataiban részt vevő egyéb környezeti elemekkel való külső összefüggései.

A nemzetközi tapasztalatok ezt a feltevést egyrészt alátámasztják (Boettinger et al. 2010; Lagacherie et al. 2007), másrészt nyilvánvalóvá teszik, hogy nincsenek univerzálisan használható módszerek (Grunwald 2009; Arrouays et al. 2017a), továbbá azt is, hogy az eredmények pontossága és megbízhatósága nagyban függ a felhasznált talajinformációs nyersanyag mennyiségétől és minőségétől (Dobos et al. 2006; Minasny & McBratney 2016; Arrouays et al. 2017b). Ez utóbbiban hazánkban kitüntetett szerepe van a rendelkezésre álló jelentős mennyiségű, talajokra vonatkozó információ révén. Kérdés, hogy ez az előny valóban kiaknázható-e és amennyiben igen, milyen mértékben és hatékonysággal. A hazai és nemzetközi igényeket - tematikus, térbeli és időbeli pontosság szempontjaiból - optimálisan kielégítő digitális talajtérképeket szándékoztunk létrehozni a talajok tulajdonságaira, folyamataira, funkcióira vonatkozóan. A megvalósítandó, országos, digitális, tematikus talajtulajdonság, illetve talajfunkció térképek megcélzott térbeli felbontását legalább 1:50.000 (cca. 50-100 méteres raszteres felbontás), illetve - példaértékkel - ezeket megalapozandó, mintaterületeken legalább 1:25.000 (cca. 25-50 méter raszteres felbontás) méretarányban határoztuk meg. A támogatást nyert projektnek a DOSoReMI.hu (Digital, Optimized, Soil Related Maps and Information in Hungary; azaz Digitális, Optimalizált, Talajokra vonatkozó Térképek és Térbeli Információk) elnevezést adtuk, ami fokozatosan kibővült értelmezést nyert, megjelenítve nemcsak az annak keretében, hanem az ahhoz kapcsolódó digitális talajtérképezési munkáinkat is. A DOSoReMI.hu kezdeményezés kimondott célként tűzte ki a hazai talaj téradat infrastruktúra megújítását, melynek során újragondoltuk a hazai talaj téradatok (térbeli talajinformációk, talajtérképek) előállításának és szolgáltatásának kereteit.

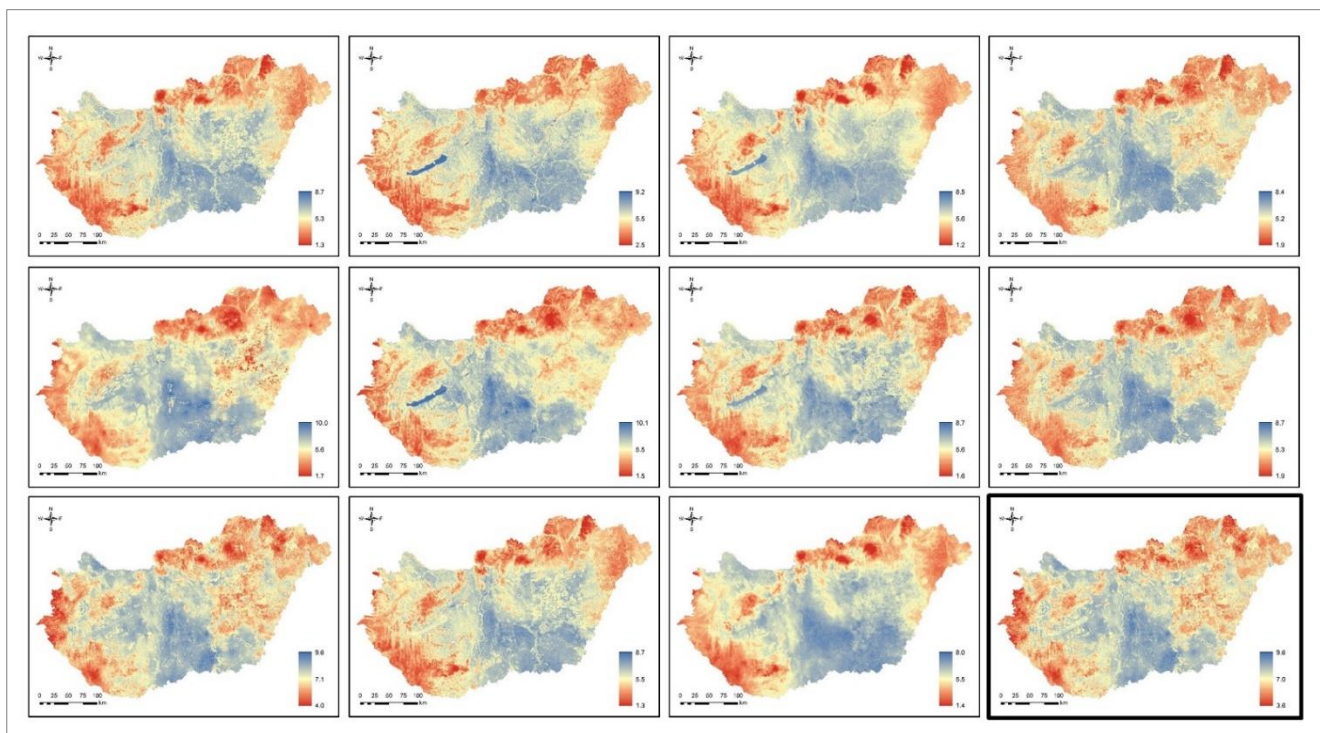


4.1. ábra A DOSoReMI.hu keretrendszere

A DOSoReMI.hu keretrendszerét a 4.1 ábrán foglaltam össze. Eszerint elsőként a térképezés célváltozóját határozzuk meg az igények alapos mérlegelése alapján. A kiválasztott célváltozó szemszögéből elemezzük a rendelkezésre álló adatrendszereket a referenciaként felhasználható adatok kiválasztása céljából. Alapos gyűjtés alapján összeállított, prediktorként funkcionáló, térképi alapú, környezeti segédadat, illetve módszer

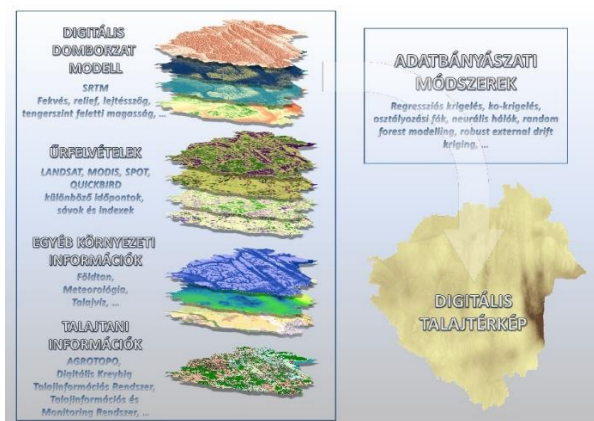


könyvtárakból választjuk ki a térbeli modellezéshez a lehetséges elemeket, melyek segítségével végezzük a SCORPAN realizációkat a célváltozóra vonatkozó térbeli predikciók előállítására. A becslésekre bizonytalansági elemzéseket végzünk. Az egyes célváltozók modellezése különböző térbeli kiterjesztési eljárások sorával történik (4.2 ábra) a módszerek, referencia és prediktor adatok változtatásával, melyek közül az eredménytérképekre elvégzett pontossági vizsgálatok alapján választjuk ki a legjobban teljesítőt és egyben az azt szolgáltató paraméter együtttest (referencia talajadat, segédváltozó sokaság, módszer).



4.2. ábra Országos pH (0-30 cm) térkép elkészítéséhez a módszerek, referencia és prediktor adatok változtatásával készült predikciók sorozata.

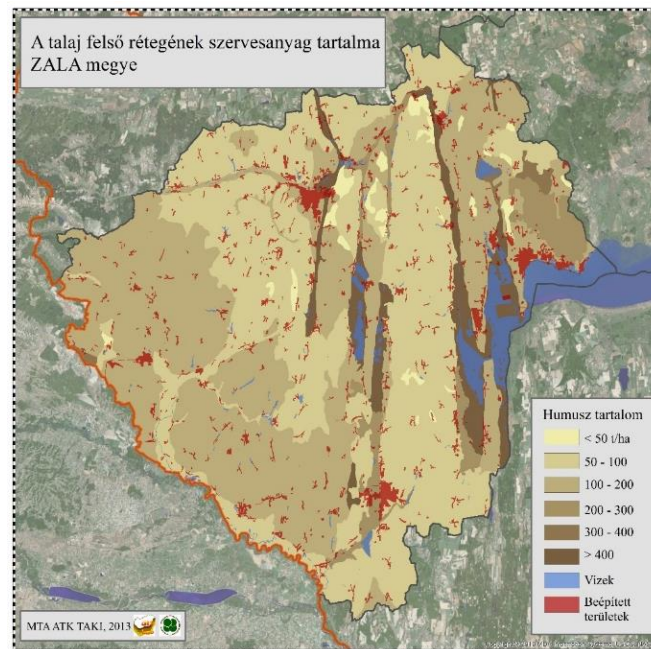
#### 4.1 Esettanulmány: A talajok felső rétegének szervesanyag tartalma Zala megyében



4.3. ábra Grafikus összefoglaló

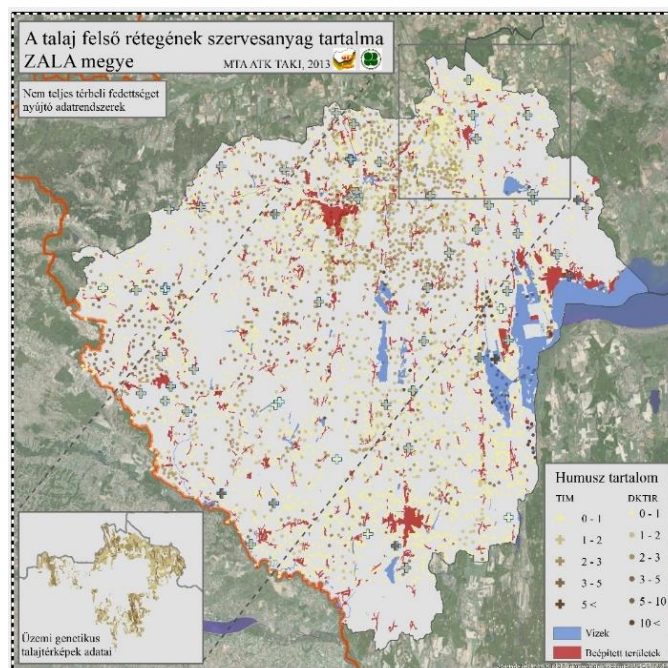
Az országosan tervezett feladatokat megalapozandó Zala megye mezőgazdasági területeire vonatkozóan teszteltük a DOSoReMI keretrendszerét (Pásztor et al. 2014, 2015). Megfelelően választott digitális talajtérképezési eljárásokkal talajtulajdonság (genetikus talajtípus, termőréteg vastagság, a felső két réteg homok- és agyagtartalma, illetve a szántott réteg kémhatása, szervesanyag- és mésztartalma) térképeket szerkesztettünk, illetve először ötvöztük ezen térképeket a 4M növénymodellel a talajok produkciós funkciójának regionalizálására (lásd 4.5.3 alfejezet). A térbeli predikciók 20 méteres rasterre készültek. Ezek közül részletesebben a szervesanyag térkép előállításával kapcsolatos munkákat mutatom be (Pásztor et al. 2013a; Szatmári et al. 2013), mivel a feltalaj szervesanyag tartalom térbeli eloszlásának nagy térbeli felbontású, kvantitatív ismerete számos szempontból bír jelentőséggel (növénytermesztés, földértékelés, talaj-, erózióvédelem, szennyezésekkel szembeni puffer képesség, karbon mérleg, etc.). Térképezési munkánk előtt Zala megye talajtakarójának szervesanyagtartalmára vonatkozó ismerethez jutni a következő módokon lehetett.

- Az AGROTOPO adatbázis megyei kivágata. Ebből talajfoltokra vonatkoztatva kapható becslés t/ha egységben kifejezett kategóriák formájában (4.4 ábra).



4.4. ábra A feltalaj szervesanyag készletére vonatkozó talajtérkép Zala megyére az AGROTOPO adatbázis alapján

- A nagyméretarányú genetikai és földértékelési térképezés kartogramjai alapján. A megye területére valamikor is elkészült térképek részlegesen átestek térinformatikai feldolgozáson, de ezek nem elérhetők egy központi rendszerből. A térképezés egyébiránt is csak a mezőgazdasági területek bizonyos hányadára készült el, így eredendően nem képes teljes térbeli fedettséget biztosítani (4.5 ábra).
- A Talajinformációs és Monitoring Rendszer (TIM) ugyan friss és nagy megbízhatóságú adatokkal rendelkezik a talajok szervesanyag tartalmára vonatkozóan, viszont csupán talajszelvényekre (a megye területére 59 esik; 4.5 ábra) tartalmaz információt, ennek térbeli érvényességéről nem.
- Mivel a Kreybig térképezés nem vállalkozott a szervesanyag tartalomra vonatkozó adatok térbeli kiterjesztésére, a DKTIR foltjaira nem, csupán a szelvényekre áll rendelkezésre ilyen jellegű információ (4.5 ábra).



4.5. ábra A feltalaj szervesanyag készletére vonatkozó térbeli alapú információk Zala megyére

A digitális talajtérképezés nyújt arra alkalmas lehetőséget, hogy a talajszelvény adatok felhasználásával megfelelő térbeli predikciók születhessenek. Így vágtunk bele Zala megye digitális szervesanyag-tartalom térképének

előállításába a DKTIR adataira, illetve környezeti segédváltozókra alapozva regresszió krigelés segítségével. A munka során változó számú és változó talajképződési tényezőhöz kapcsolódó környezeti segédváltozókat használtunk fel, hogy vizsgálni tudjuk a regresszió krigelés modelljébe vont segédváltozó kombinációk minőségi hatását a becslő eljárás alapját jelentő többszörös lineáris regresszió modellre, illetve a becslő térkép pontosságára vonatkozóan. Az eredmények értékelése alapján választottuk ki a legjobban teljesítő, optimális predikciót.

Zala megye feltalajára (0-30 cm) vonatkozó szervesanyag-tartalom adatokat a DKTIR talajszelvény adatbázisból válogattuk le. Összesen csaknem 2.000 adatpont állt a rendelkezésünkre, melyekben a humusztartalom tömegszázalékban van kifejezve. A Kreybig-féle Átnézetes Talajismereti Térképezés talajszelvényeinek térbeli eloszlása nem egyenletes, a megye déli, illetve északkeleti területein jelentősen alacsonyabb a sűrűségük, ami az ezeket a területeket borító kiterjedt erdőkkel magyarázható. A kiindulási talajszelvény adatsort két részre osztottuk: egyrészt kialakítottunk egy kalibrációs adatponti halmazt, amelyet a konkrét térbeli becslések során használtunk (az összes 80%-a), illetőleg egy véletlenszerűen leválogatott kontroll adatponti halmazt, amely mindvégig független maradt a térbeli becslési eljárástól (az összes 20%-a). Utóbbival, mint független mérési adathalmazzal értékeltük térbeli becsléseinket.

A kalibrációs adatsoron feltáró alapadat elemzést végeztünk. Boxplot segítségével eltávolítottuk a kiugró, illetve extrém értékeket, a valószínűség-eloszlás normalitását analitikus módszerrel (Kolmogorov-Szmirnov próba Lilliefors-féle kiterjesztéssel) vizsgáltuk. A próba eredménye szerint a humusztartalom valószínűségi eloszlása nem modellezhető normál eloszlással, ezért logaritmikus adat-transzformációt (Hengl 2009) végeztünk.

A szervesanyag-tartalom térbeli becsléséhez a szakirodalomban leggyakrabban használt környezeti segédváltozókat használtuk (McBratney et al. 2000, 2003; Odgers et al. 2012; Liu et al. 2016; Poggio & Gimona 2017). A digitális domborzatmodellből a következő elsődleges, illetve másodlagos paramétereket származtattuk: tengerszint feletti magasság, lejtés, sík- és profilgörbület, összegyülekezési raszter, topográfiai nedvesség index, LS faktor (Wischmeier & Smith 1978), ún. „mass balance index”, vízfolyás energia index, topográfiai pozíció index. Felhasználtunk 18 darab, 2009. és 2011. közötti időszakban készült MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) műholdképekből származtatott NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), illetve EVI (Enhanced Vegetation Index) vegetációs index állomány, (eredeti geometriai felbontásuk 250 méter), melyekkel a lefedett időszak vegetáció fejlődési periódusait kívántuk jellemezni. Segédváltozóként további két klímaparamétert (évi átlagos csapadékösszeg, nyári hónapok középhőmérséklete), illetve a DKTIR talajtérképi egységeit, név szerint a talajok textúra és vízgazdálkodási tulajdonságait (DKTIR-F), kémiai tulajdonságait (DKTIR-K) és tájtermesztési besorolását (DKTIR-T) alkalmaztunk. A felsorolt segédadatokat egy-egy talajképződési tényezőhöz rendeltük: a digitális domborzatmodell elsődleges és másodlagos derivátumait a domborzati, a vegetációs index állományokat a biológiai, a klímaparaméterek az éghajlati, a talajtérképi információkat pedig a talaj tényezőhöz.

A kvalitatív segédváltozókat (DKTIR talajtérképi egységeit) indikátor változókká alakítottuk. A vektoros állományokat 20 méteres referencia rácsra vonatkoztatva alakítottuk raszterekké, a durvább felbontású képi állományokat, pedig újra mintavételeztük. A kvantitatív típusú környezeti segédadatokat fedvényeinek pixelértékeit 0-255 skálára transzformáltuk. Az egyes segédváltozó kombinációkhoz tartozó kvantitatív változókon főkomponens analízist (PCA) végeztünk, mellyel a multikollinearitás csökkentése volt a célunk többszörös lineáris regresszió analízis elvégzése érdekében. A regressziós vizsgálatok során független változóként a PCA eredményeként kapott főkomponenseket, illetve az indikátor változókat használtuk fel.

A becslési algoritmus alapját jelentő többszörös lineáris regresszió analízist a szervesanyag-tartalom kalibrációs adatsorán (mint függő változón), illetve az egyes segédadat kombinációkon (mint független változókon) végeztük el. Az analízisek során mindvégig 5%-os szignifikancia szintet alkalmaztunk. Az eredményül kapott regressziós modellekből minden esetben származtattuk a reziduumokat, melyeken feltáró variográfiai vizsgálatokat végeztünk. A tapasztalati félvariogramokhoz elméleti félvariogram modelleket illesztettünk szemiatomatikus megoldással, melyeket reziduumok krigelésénél használtunk. A regressziós modellek, illetve a reziduumokon alapuló krigelési becslő eljárás eredőjeként kaptuk meg a humusztartalom térbeli becsléseit.

A predikciókat a DKTIR talajszelvényeiből előzetesen leválogatott, a becslési eljárástól független kontroll adatokkal értékeltük. A kontroll pontokban mért szervesanyag-tartalom értékeket összevetettük az ugyanazon pontokra becslő humusztartalom értékekkel. A becslések validációját a következő paraméterekre alapozva végeztük el: ME (Mean Error) átlagos hiba, MAE (Mean Absolute Error) a hibák abszolút értékének az átlaga, RMSE (Root Mean Square Error) átlagos négyzetgyök hiba (4.1 táblázat). Az egyes térbeli becslések RMSE számított értékén keresztül értelmezett pontosságának relatív növekedését az RI (Relative Improvement) paraméter segítségével számszerűsítettük (Simbahan et al. 2006). Vizsgálataink során a legmagasabb RMSE értékkel rendelkező becslést vettük a viszonyítási alapnak, hogy a számított RI<sub>i</sub> (%) értéke minden esetben pozitív legyen.

Validációs paraméter		
átlagos hiba (mean error; ME)	$ME = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n [\hat{z}(s_i) - z(s_i)]$	(4.1)
átlagos abszolút hiba (mean absolute error; MAE)	$MAE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n  \hat{z}(s_i) - z(s_i) $	(4.2)
átlagos négyzetgyök hiba (root mean square error; RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n [\hat{z}(s_i) - z(s_i)]^2}$	(4.3)
relatív növekedés (relative improvement; RI)	$RI_i(\%) = 100 \cdot \left( \frac{RMSE_{\max} - RMSE_i}{RMSE_{\max}} \right)$	(4.4)

4.1. táblázat A validációhoz használt pontossági mértékek ( $\hat{z}(s_i)$  és  $z(s_i)$ ) a becsült és a mért értékek az  $s_i$  kontroll pontban).

A regresszió krigelésen alapuló térbeli becslések során a 4.2 táblázatban bemutatott segédadat kombinációkat használtuk fel. Az „A” modell a humusztartalom és a topográfiai tényező közötti kapcsolatot hivatott vizsgálni, a „B” modell a humusztartalom és a biológiai, illetve éghajlati tényezők közötti kapcsolatot számszerűsíti. A „C” modell az előző két modell együttese, míg a „H” modell kialakítására azért volt szükség, hogy a biológiai tényezőhöz rendelt MODIS műholdképek térbeli becslésre gyakorolt hatását vizsgáljuk. A bemutatott modellek kizárólag kvantitatív segédváltozókat foglaltak magukba. A „D”, „E”, „F”, „G”, „I”, „J”, „K” és „L” modellek különböző kombinációkban kvalitatív segédadatokat is tartalmaznak, melyek a DKTIR talajtérképi egységeihez kapcsolódnak.

Modellek (1)	Környezeti segédváltozók (2)					
	Domborzati tényező (3)	Biológiai tényező (4)	Éghajlati tényező (5)	Talajtani információk (6)		
				DKTIR-F	DKTIR-K	DKTIR-T
A	X	-	-	-	-	-
B	-	X	X	-	-	-
C	X	X	X	-	-	-
D	X	X	X	-	X	-
E	X	X	X	X	-	-
F	X	X	X	-	-	X
G	X	X	X	X	X	-
H	X	-	X	-	-	-
I	X	-	X	X	-	-
J	X	-	X	X	X	-
K	X	-	X	-	X	-
L	X	-	X	-	-	X

4.2. táblázat A felhasznált környezeti segédváltozók kombinációi az egyes térbeli becslési modellekben.

Regresszió modellek (1)	Regresszió modellek jellemzői (2)				
	R <sup>2</sup> (%)	Std, Error	SSR	SSE	MSE
A	16,8	0,477	82,4	407,0	0,228
B	10,7	0,495	52,1	437,3	0,245
C	20,1	0,469	98,3	391,2	0,220
D	27,4	0,447	133,8	355,6	0,200
E	34,7	0,424	169,8	319,7	0,180
F	35,5	0,422	173,9	315,6	0,178
G	36,0	0,420	176,3	313,2	0,177
H	18,3	0,474	89,4	400,1	0,225
I	34,1	0,426	166,7	322,8	0,182
J	35,4	0,422	173,1	316,4	0,178
K	26,3	0,450	128,7	360,8	0,203
L	34,9	0,423	170,9	318,6	0,179

4.3. táblázat A térbeli becslések során felhasznált többszörös lineáris regresszió modellek és azok jellemzői.



A szervesanyag-tartalom és a különböző segédadat kombinációkra illesztett regressziós modellek jellemzőit a 4.3 táblázat foglalja össze. A legalacsonyabb  $R^2$  értékkel a „B” regresszió modell rendelkezik, mely modellben a független változók csupán a biológiai, illetve az éghajlati tényezők voltak. A „B” modell determinációs koefficiensét meghaladja az „A” modellé, ahol is az „A” független változói a domborzathoz, mint talajképző tényezőkhöz kapcsolódtak. Fontos megjegyezni, hogy míg a „B” modell a szervesanyag-tartalom térbeli változékonyságának valamivel több mint 10%-t volt képes leírni, addig az „A” közel 16%-ot volt képes determinálni. Az összes kvantitatív segédadat figyelembevétele mellett („C” regresszió modell) az illesztett függvény a humusztartalom változékonyságának az egyötödét írta le. A „H” modell, mely mellőzi a biológiai tényezőt, a teljes varianciának több mint 18%-át volt képes determinálni. A 4.3 táblázatban megfigyelhető, hogy a kvalitatív típusú, talajtani segédinformációk bevonása esetén relatíve jelentősen emelkedtek a regressziós modellek determinációs koefficienseinek értékei. A legmagasabb  $R^2$  értékkel a „G” modell rendelkezik, mely az összes általunk használt talajképződési tényezőt és a DKTIR két talajtérképi egységének (DKTIR-F, DKTIR-K) fedvényét használja segédváltozóként. A „G” modell a humusz térbeli változékonyságának 36%-át írja le. Az utóbbi mellett relatíve magas  $R^2$  értékkel rendelkezik az „E”, „F”, „I”, „J” és „L” modell is. A legmagasabb determinációs koefficienssel rendelkező regresszió modellekben a DKTIR-F, illetve DKTIR-T segédváltozók szerepelnek, mint talajtani segédváltozók, ami ékes bizonyítéka a SCORPAN modellen belül az S (talaj) faktor létjogosultságának (vö. 2.5 fejezet).

Az egyes modellek alapján készült térképek (4.6 ábra) pixelértékeire, illetve a kalibrációs adatponti értékekre számolt összefoglaló statisztikát a 4.4 táblázat tartalmazza. A térképek minimuma magasabb, mint a becslés alapját jelentő pontszerű adatok minimum értéke, míg a maximumok alacsonyabbak, mint a kalibrációs adatok esetén; utóbbi alól kivételt képez az „F” és „L” térkép, melynek oka a többszörös lineáris regresszió függvény extrapolációra való alkalmazása a magasabb humusztartalom értékek irányában. A legalacsonyabb szórással a „B” jelű térkép rendelkezik, vagyis e térkép esetén volt a legnagyobb a krigelésekre jellemző simító hatás (Goovaerts, 1997). Viszonylag magas szórás jellemzi az „F”, „L”, „G”, „J”, „I” és „E” térképeket, de az értékük még így is alacsonyabb, mint a kalibráló adatok szórása.

Térképek (1)	Statisztikai mutatók (2)			
	Minimum (3)	Maximum (4)	Átlag (5)	Szórás (6)
A	0.7	22.8	2.51	1.393
B	0.8	16.1	2.50	1.329
C	0.7	21.0	2.56	1.400
D	0.8	19.1	2.57	1.531
E	0.7	21.6	2.67	1.616
F	0.7	34.8	2.73	1.925
G	0.7	21.8	2.62	1.635
H	0.7	22.6	2.51	1.404
I	0.7	20.4	2.63	1.626
J	0.7	20.2	2.61	1.632
K	0.7	19.4	2.58	1.560
L	0.7	32.4	2.63	1.918
KA	0.4	29.3	2.71	2.955

4.4. táblázat A regresszió krigeléssel előállított térképek és a kalibrációs adatok (KA) összefoglaló statisztikái.

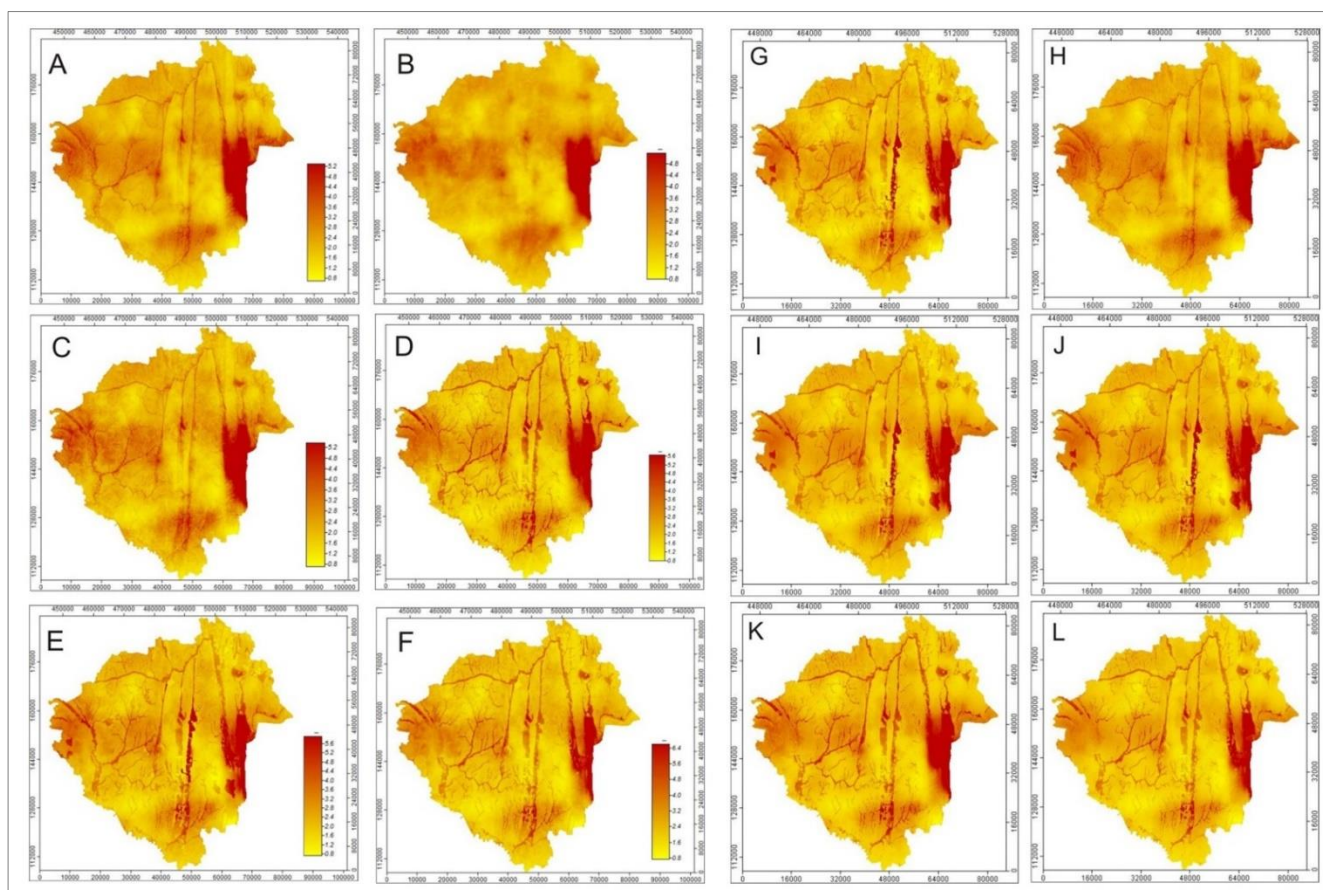
A validáció eredményét a 4.5 táblázat mutatja be. Mindhárom megbízhatósági mérték szerint a legjobb becslést az „I” és a „J” térképek adták, mert a kontroll adatoktól való eltérés ezen térképek esetén a legkisebb. Az említett két térkép közül az „I” jelű rendelkezik a legkisebb MAE értékkel, így ezen térképet tekinthetjük a legpontosabb térbeli becslésnek. A validációs mutatók alapján a legpontosatlanabb térbeli kiterjesztést a „B” jelű térkép adta, a többi térbeli becslés pontosságának relatív növekedését ehhez a térképhez viszonyítottuk. A „B” térképhez képest az „I” és a „J” becslések 21%-kal adtak pontosabb predikciót, őket követik az „E” és „G” modellek 16%-kal.

A validációs mutatók segítségével kapott sorrend is rávilágít arra, hogy az eróziót és akkumulációt befolyásoló domborzati adottságok mellett a talajtakaró fejlődésében az egyik legfontosabb szerepet a fizikai tulajdonságok kapják. A talaj fizikai félesége döntő befolyással van a talaj vízháztartására, a beszivárgásra, a kilúgozás intenzitására, a nedvességtartalomra és ezeken keresztül a humuszképződés folyamatára. A talajkémiai tulajdonságok (pH, mészellátottság) segédváltozókként való bevonása („J”) már nem javította a becslés pontosságát, mely okát a terület viszonylagos homogenitásában kereshetjük. Ugyanakkor lényegesen nagyobb hibával terhelt térképeket kapunk, ha az „I” és a „J” modellek segédadatai mellett a biológiai tényezőkhöz rendelhető 250 méteres térbeli felbontású MODIS vegetációs index állományokat is bevonjuk a regresszió



dc 1576 18

krigelésbe („E” és „G” jelű térkép). A becslési hiba növekedésének feltételezhetően nem a vegetációs index állományok és a szervesanyag-tartalom közötti gyenge statisztikai kapcsolat az oka, hanem a MODIS képek 250 méteres felbontásából származó nagyságrendi léptékváltás. Az „I” jelű térkép déli, illetve északkeleti területein kevésbé pontos becslést kaptunk, melynek oka, hogy ezen területek, mint korábban említettük a mintavételezések szempontjából alulreprezentáltak, ami negatív hatással van a térbeli kiterjesztések pontosságára, hisz regresszió krigelés esetén elvárás, hogy a mintavételi pontok egyenletesen fedjék le a térképezendő terület, csakúgy mint a tulajdonság teret (Hengl, 2009). A humusztartalom alulbecslése a lápos területek bizonyos részein, illetve felülbecslése az erdővel borított, magasabb térszínű területeken annak tulajdonítható, hogy a referencia adatok nem megfelelően reprezentálják a fázisteret. A tulajdonság tér középső tartományában kellő számú minta állt rendelkezésre a regresszió függvény illesztéséhez, így a becslésünk jól közelítette a szervesanyag-tartalmat.



4.6. ábra A feltalaj szervesanyag készletére vonatkozó becslések az egyes modellek szerint.

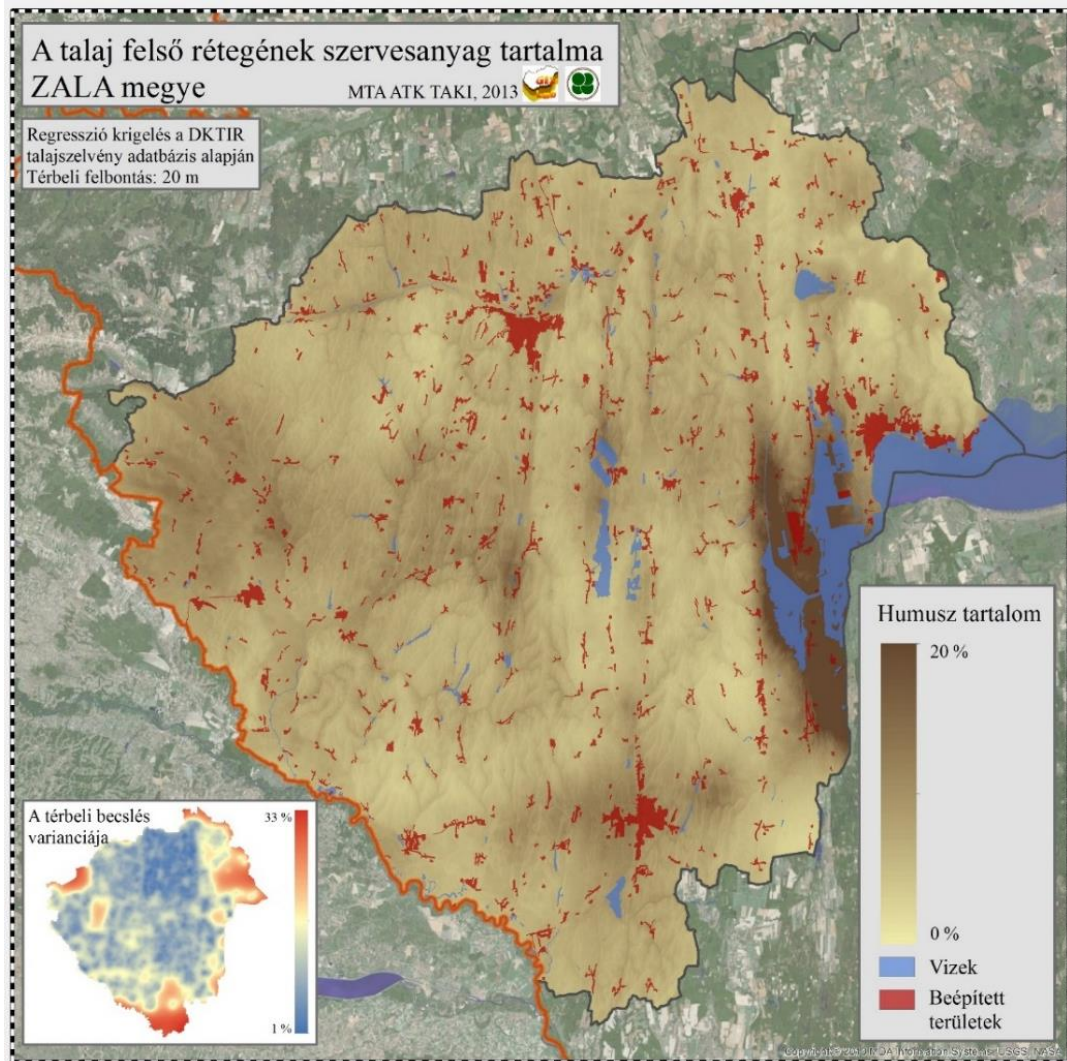
Térképek (1)	Validációs paraméterek (2)			
	ME	MAE	RMSE	RI <sub>i</sub> (%)
A	-0,431	0,863	2,594	5
B	-0,457	0,883	2,727	-
C	-0,453	0,883	2,686	2
D	-0,406	0,883	2,599	5
E	-0,309	0,768	2,278	16
F	-0,424	0,852	2,585	5
G	-0,311	0,779	2,280	16
H	-0,432	0,865	2,589	5
I	-0,288	0,747	2,166	21
J	-0,286	0,754	2,166	21
K	-0,374	0,840	2,457	10
L	-0,397	0,827	2,473	9

4.5. táblázat Az előállított szervesanyag-tartalom térképek validációjának eredményei.

A térképezési folyamat eredményeképpen előállt térképünk (ábra) kvantitatív voltának és térbeli felbontásának köszönhetően a korábbiaknál sokkal részletesebben képezi le a megye talajtakarójának szervesanyag-tartalmát,

dc\_1576\_18

de nem csak ez különbözteti meg a korábbi, szervesanyagra vonatkozó térképi információktól. Annak ellenére, hogy minden térkép egy adott modell alapján végzett térbeli becslés eredménye, ami ebből következően hibával terhelt, ennek a hibának a mértékéről és térbeli eloszlásáról a hagyományos (talaj)térképek nem szoktak megemlékezni. A digitális talajtérképezés során felhasznált módszerek általános jellemzője, hogy azok a térbeli predikcióval együtt annak bizonytalanságára is becsléssel szolgálnak. A regresszió krigelés esetében jellemzően a krigelési varianciát tekintik a bizonytalanság lokális becsléseként, mely modell szerint a többváltozós lineáris regresszió a determinisztikus trendleválasztást szolgáltatja és a krigeléssel figyelembe vett sztochasztikus tag hordozza csupán a térbeli predikció bizonytalanságát. Az optimálisnak tekintett térbeli becslés felhasználásával kartografált térkép (4.7 ábra) melléktérképként tartalmazza a digitális talajtérképezési módszer lényegéből következő bizonytalansági (Heuvelink, 2006) becslést.

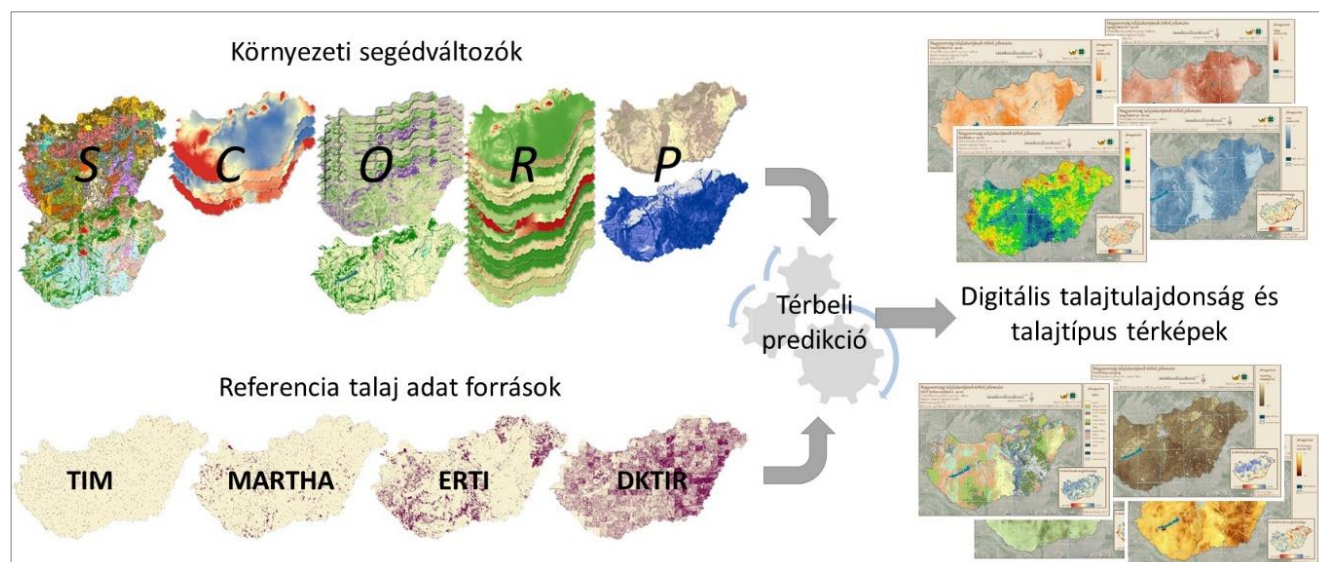


4.7. ábra A feltalaj szervesanyag tartalmának nagy felbontású, térbeli készletezése céljából szerkesztett digitális talajtérkép Zala megyére a becslési bizonytalanság feltüntetésével.

A megyei szintű vizsgálatok során szerzett tapasztalatok és tanulságok a DOSoReMI.hu keretében végzett országos térképezési munkákban hasznosultak.



## 4.2 Országos, elsődleges talajtulajdonság és talajtípus térképek



4.8. ábra Grafikus összefoglaló.

A talajokra vonatkozó ismeretek három szintjét szokás megkülönböztetni (Dobos et al. 2006). Az elsődleges talajtulajdonságok, illetve osztályok közé a közvetlenül, terepen, illetve laborban meghatározható, mérhető jellemzőket, illetve az ezek alapján történő osztályozás eredményeit soroljuk. A másodlagos talajtulajdonságoknak, illetve osztályoknak a közvetlenül nem mérhető, meghatározható, hanem az elsődlegesekből levezethető jellemzőket tekintjük. Mindezekre épülnek a talajok magasabb szintű tulajdonságai, mint a funkciók, folyamatok és szolgáltatások (4.6 táblázat). A legtöbb referencia információ természetesen az elsődleges talajtulajdonságokra érhető el, így az ezekre vonatkozó térképek mellett, hogy a leginkább keresettek, előállításuk adatigénye is a legkönnyebben kielégíthető.

CÉLVÁLTOZÓ					
Elsődleges talajtulajdonság			Elsődleges talaj típus/osztály		
teljes szelvény	szint		teljes szelvény	szint	
	GSM.net standard	specifikus mélység réteg		GSM.net standard	specifikus mélység réteg
standard vagy egyedi jellemző			standard vagy egyedi jellemző		
Másodlagos talajtulajdonság			Másodlagos talaj típus/osztály		
teljes szelvény	szint		teljes szelvény	szint	
	GSM.net standard	specifikus mélység réteg		GSM.net standard	specifikus mélység réteg
standard vagy egyedi jellemző			standard vagy egyedi jellemző		
Talaj funkciók, szolgáltatások					

4.6. táblázat A DTT során térképezhető talajtani célváltozók csoportosítása a DOSoReMI.hu keretrendszere szerint.

Az elsődleges talajtulajdonság térképek előállítását célozzák meg a nemzetközi kezdeményezések (GlobalSoilMap, Global Soil Organic Carbon Map, SOILGRIDS etc.), ezeket használják akár egyszerű indikátorként magasabb rendű talajjellemzők közelítésére, akár komplex modellekben ez utóbbiak számítására. A DOSoReMI.hu „benépesítését” magunk is országos talajtulajdonság térképekkel kezdtük. Ehhez egy folyamatosan bővülő, segédváltozókból felépülő könyvtárat állítottunk elő, amely prediktorként funkcionál, térképi alapú, környezeti segédadatokat tartalmaz (4.7 táblázat). A következőkben az elsődleges talajtulajdonságokra vonatkozóan előállított térképek közül egyét, a termőréteg-vastagság modellezési folyamatát mutatom be részletesebben. Ezt, a talán legáltalánosabban használt kategória térkép, a hagyományos magyar osztályozás szerinti genetikus talajtérkép digitális előállításának bemutatása követi.

Talajképző tényező	Környezeti segédváltozó	Felbontás	(névleges) méretarány
S (talaj) <sup>10</sup>	DKTIR fizika		1:25.000
	DKTIR kémia		1:25.000
	DKTIR sekély termőréteg		1:25.000
	DKTIR tájtermesztés		1:25.000
	AGROTOPO 9 réteg		1:100.000
	MÉM-NAK 1:200.000-es genetikai térkép		1:200.000
C (klíma)	Évi átlagos hőmérséklet	100 m	
	Évi átlagos csapadék	100 m	
	Évi átlagos párolgás	100 m	
	Évi átlagos evapotranspiráció	100 m	
O (vegetáció)	MODIS 2013.09.07. (vörös, közeli infravörös, NDVI)	250 m	
	MODIS 2015.05.19. (vörös, közeli infravörös, NDVI)	250 m	
	MODIS 2016.07.11. (vörös, közeli infravörös, NDVI)	250 m	
	MODIS 2017.08.31. (vörös, közeli infravörös, NDVI)	250 m	
	MODIS 2017.10.16. (vörös, közeli infravörös, NDVI)	250 m	
	CHRL erdő (lombkorona fedettség, erdőtípus)	20 m	
	CHRL füves területek	20 m	
	CHRL vízenyírt területek	20 m	
	SENTINEL vörös mozaik 2016. nov-dec.	10 m	
	Corine Land Cover (CLC50)		1:50.000
R (domborzat)	Általános görbület	25/30/100 m	
	Diffúz besugárzás	25/30/100 m	
	Direkt besugárzás	25/30/100 m	
	Felszíni terület	25/30/100 m	
	Hosszirányú görbület	25/30/100 m	
	Keresztsszelvény-menti görbület	25/30/100 m	
	Kitettség	25/30/100 m	
	Lefolyás hálózati alapszint	25/30/100 m	
	Lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság	25/30/100 m	
	Lejtés	25/30/100 m	
	Lejtő emelkedő irányú görbület	25/30/100 m	
	Lejtő lejtirányú görbület	25/30/100 m	
	Lokális görbület	25/30/100 m	
	Lokális lejtő emelkedő irányú görbület	25/30/100 m	
	Lokális lejtő lejtirányú görbület	25/30/100 m	
	LS faktor	25/30/100 m	
	Magasság	25/30/100 m	
	Napi anizotrópikus melegítés	25/30/100 m	
	Profil görbület	25/30/100 m	
	Relatív lejtő pozíció	25/30/100 m	
	SAGA nedvesség index	25/30/100 m	
	Topográfiai nedvesség index	25/30/100 m	
	Topográfiai pozíció index	25/30/100 m	
	Többszörös felbontású hegyhát index	25/30/100 m	
	Többszörös felbontású völgytalp index	25/30/100 m	
	Tömeg egyensúly index	25/30/100 m	
	Vízfolyás energia index	25/30/100 m	
P (alapkőzet)	FDT100		1:100.000
	Talajvíz mélység		1:100.000
A (antropogén)	Corine Land Cover (CLC50)		1:50.000
	CHRL mesterséges felszín aránya	20 m	
	MKH20	20 m	1:100.000
	OTAB (vonalas elemektől, településektől való távolság)	100 m	1:100.000
N (hely)	Vízhalóztattól való távolság	100 m	
	CHR állandó vízfelület	20 m	

4.7. táblázat A DOSoReMI.hu keretében felépített segédváltozó könyvtár.

<sup>10</sup> Az archív talajtérképeken túl a talajtényezőre vonatkozó prediktorok között kapnak helyett folyamatosan az újonnan előállított digitális talajtérképeink is, amelyek tematikusan felhasználhatók további talajjellemzők modellezésénél.



#### 4.2.1 Országos termőréteg vastagság térkép

Az országos termőréteg vastagság térkép első verziójának előállításához a DKTIR talajszelvény adatbázisát használtuk referenciaként. Az adatbázisban közel 130.000 helyszínhez rendelhető a termőréteg vastagságra vonatkozó információ. A rendelkezésre álló termőréteg vastagság adatok statisztikai ellenőrzése során a kiugró értékeket eltávolítottuk. Az adatsort a standardizálás után logit transzformáltuk (Hengl et al. 2004), hogy jobban kielégítse az alkalmazandó geostatistikai módszer elvárásait. A felvételezés technológiájából eredő inhomogenitás csökkentésére az ellenőrzés és transzformáció után megmaradó mintavételi pontból random kiválasztási módszerrel mintegy 50.000-et használtunk fel a modellépítéshez (50%), a maradék szintén 50% a validálásnál kontroll pontként kapott szerepet.

A környezeti segédváltozók adatait közös vetületi rendszerbe illesztettük. A raszteres változókat (DEM deriváltak, klimatikus térképek, MODIS felvételek) egységes, 100 m-es felbontásra transzformáltuk, majd 0–255 közötti pixelértékekre átskáláztuk (Hengl 2009). A vektoros adatokat (földtan, felszínborítás) a raszteres adatok 100 m-es rácsához illeszkedően konvertáltuk, majd indikátor változókká alakítottuk. A modellezésbe bevont 46 környezeti segédváltozón főkomponens analízist végeztünk a változók számának csökkentése és a multikollinearitás elkerülése érdekében. A modellezésbe azokat a főkomponenseket vontuk be, melyek együttesen a variancia 99%-át magyarázták. A térbeli becslést regresszió krigeléssel végeztük. A becslések eredményét az előző alfejezetben bemutatott és alkalmazott validációs módszerekkel értékeltük (4.1 táblázat).

Az egyes környezeti segédváltozók szerepének elemzéséhez a modellezésnél különböző változócsoport kombinációkat alkalmaztunk. Az A modell az összes segédváltozó, míg a J modell csak a domborzati adatokat foglalta magába. A többi modell a domborzat mellett további 1–3 változócsoportot tartalmazott (4.8 táblázat)

modell	domborzat	űrfelvétel	meteorológia	földtan	felszínborítás
A	X	X	X	X	X
B	X	X	X	X	
C	X		X	X	
D	X		X		X
E	X	X	X		
F	X			X	
G	X				X
H	X	X			
I	X		X		
J	X				

4.8. táblázat. A modellezéshez használt környezeti segédváltozó kombinációk

Mind a 10 modell esetében regresszió krigelést végeztünk, majd a kontroll pontok segítségével elemeztük az egyes modellek becslésének eredményességét (4.9 táblázat).

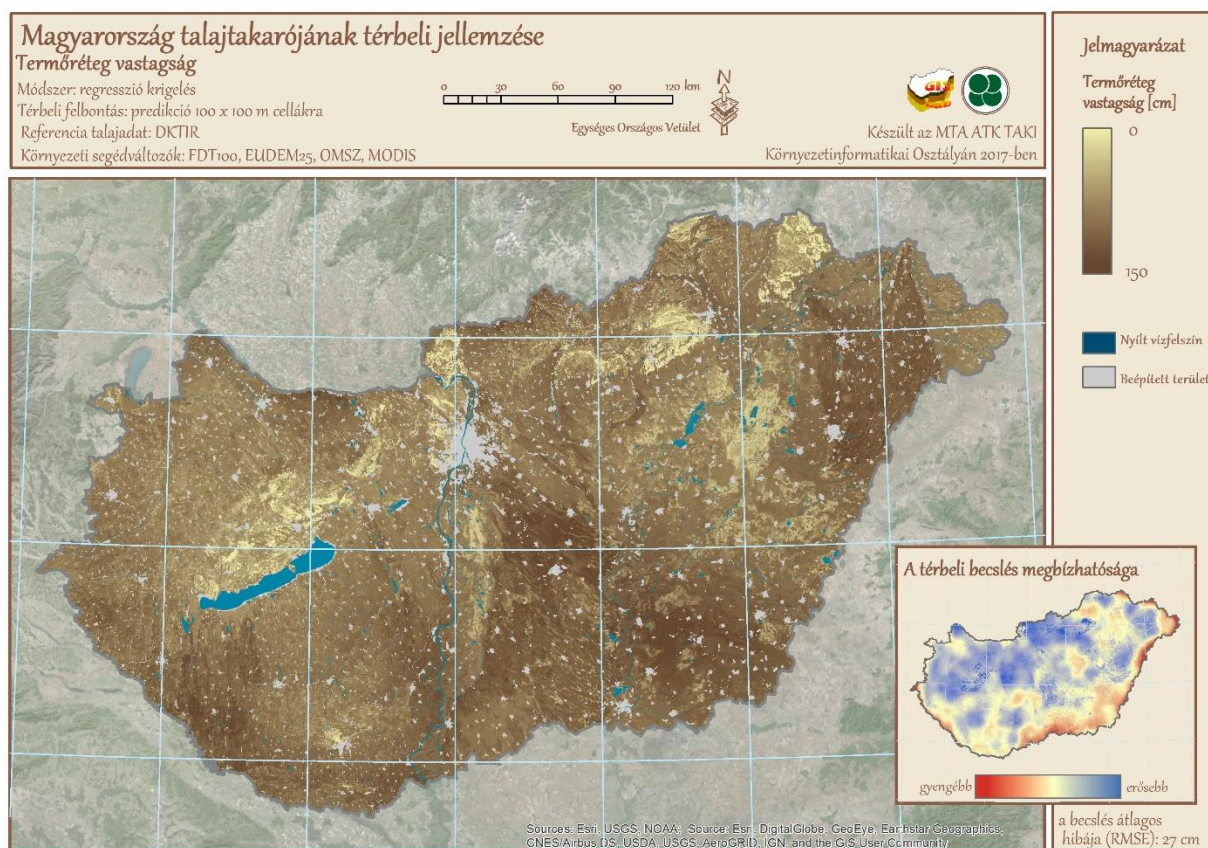
modell	MAE	RMSE	RI
A	21,33	31,00	–
B	19,75	28,09	9,41
C	19,24	27,49	11,34
D	19,30	27,86	10,13
E	18,39	25,77	16,87
F	19,03	27,14	12,46
G	18,83	26,88	13,31
H	18,19	25,49	17,79
I	18,00	25,29	18,41
J	17,89	25,11	19,00

4.9. táblázat. A validáció eredménye az egyes modellek esetében

A validáció hibaértékei alapján az E, H, I, és J modell teljesített a legjobban, – a MAE és RMSE értékek között nincs szignifikáns különbség –, melyek domborzati, meteorológiai és távérzékelt adatokat tartalmaztak. Az A modell, mely minden környezeti segédváltozót magába foglalt, érte el a legrosszabb eredményt. A felszínborítási és földtani segédváltozók sem a domborzati, sem az éghajlati változókkal kombinálva nem értek el olyan eredményt, mint a műholdképek ugyanilyen kombinációban (C, D, F, G, modell). A legjobban teljesítő, J modell szerinti becslés alapján kartografált térképet a 4.9 ábrán mutatom be.

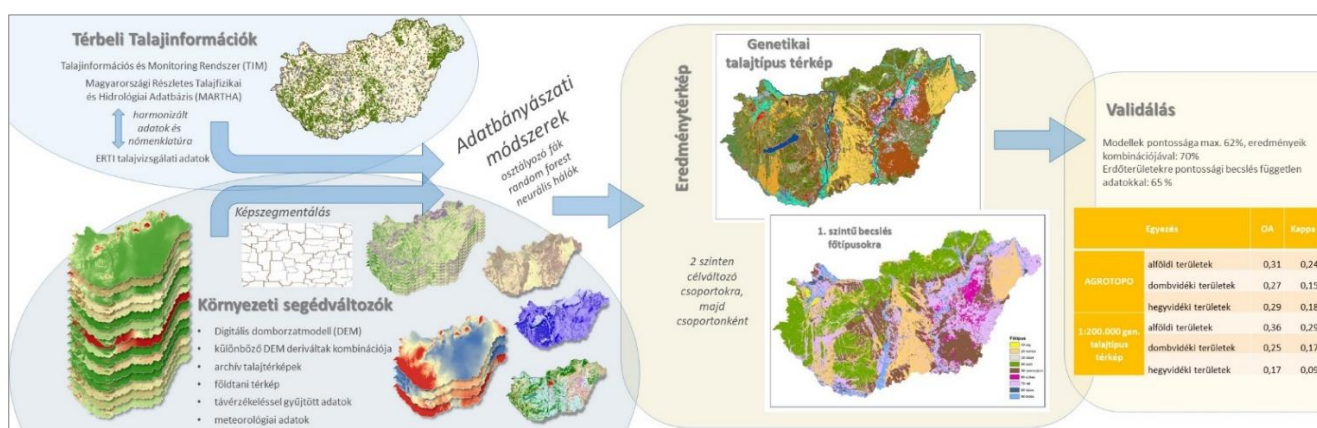
A validációs eredmények alapján a termőréteg vastagság térképezéséhez a domborzati deriváltak, mint környezeti segédváltozók, bizonyultak leghatékonyabbnak, mivel a topográfiai viszonyok határozzák meg legnagyobb részben a lehordódás-felhalmozódás helyszíneit, mértékét. Fontos segédváltozók voltak még a térbeli becslés esetében a meteorológiai paraméterek és a műholdképek. A validálási eredmények azt mutatják, hogy a

növényzetről és felszínborításról az űrfelvételek által hordozott információ bevonásával pontosabb térbeli predikciós eredmény érhető el, mint az interpretált felszínborítási adatok felhasználásával. A CLC térkép ugyan nagyobb felbontású, mint a műholdfelvételek, de a térbeli szegmentáltságot csak kategóriákba összevonva tartalmazza, így alul maradt hatékonyságban a rosszabb felbontású, de folytonos információt hordozó űrfelvételekkel szemben. A fedett földtani térkép információ tartalma meglehetősen áttételes a termőréteg vastagság térképezése szempontjából, ezt mutatja az is, hogy a geológiai paramétereket tartalmazó modellek kevésbé szerepeltek jól a validáció szerint.



4.9. ábra Az optimális modell alapján kartografált országos termőréteg vastagság térkép.

#### 4.2.2 Harmonizált jelkulcsú, országos, genetikus talajtérkép előállítása szekvenciális osztályozással



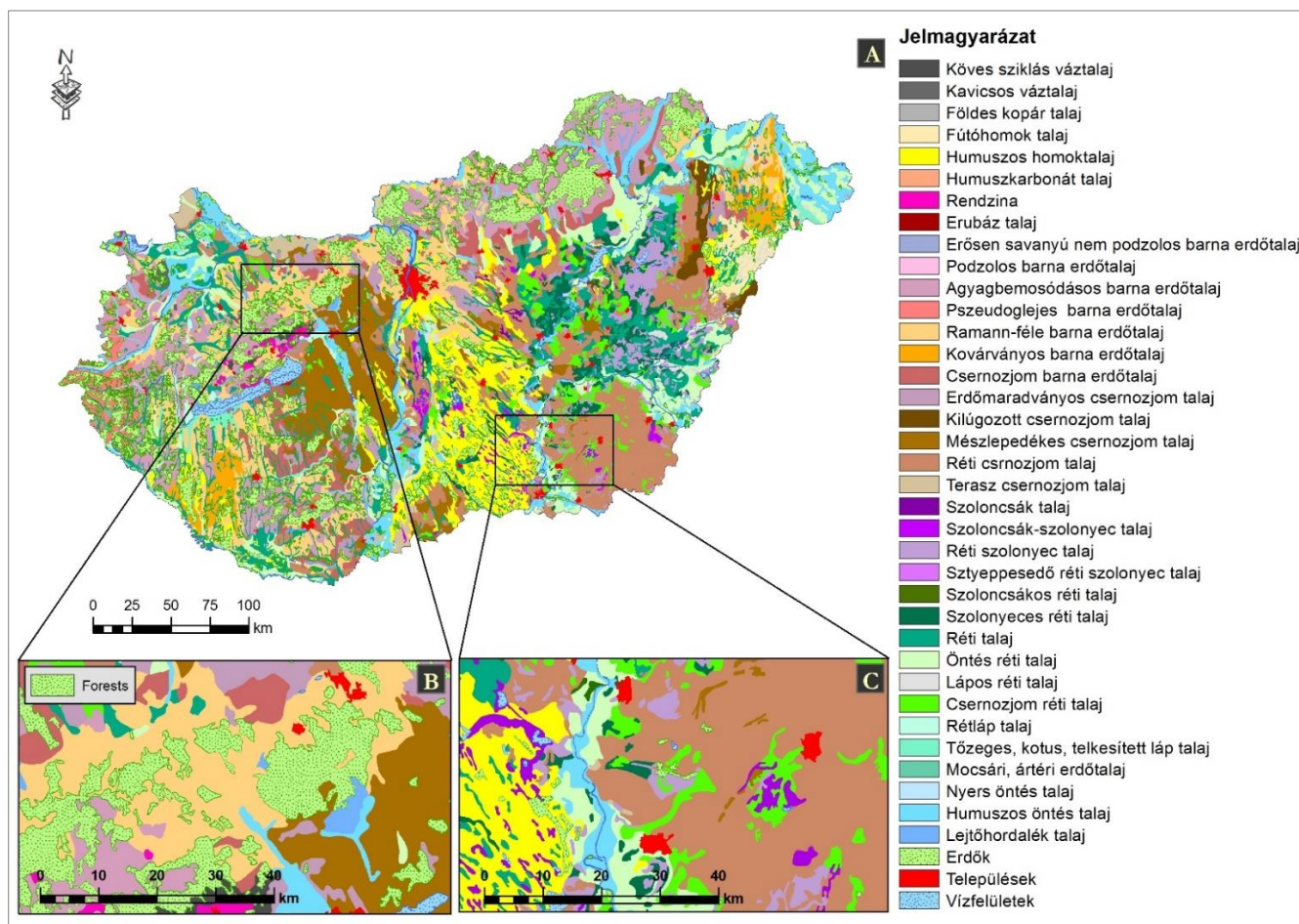
4.10. ábra Grafikus összefoglaló

Hagyományosan a talajokra vonatkozó ismeretek összegzése talajtípus térképek formájában történik, amely egy adott osztályozási rendszert követ (Brevik et al. 2016a). Általában ezekre szoktak egyszerűen talajtérképként hivatkozni, ami valóban fontosságukat tükrözi, annak ellenére is, hogy egyrészt Webster (2015) szerint az osztályozás bizonyos korlátokat jelenthet a térképek használatában, másrészt a különböző talajtulajdonság és funkcionális talajtérképek egyre nagyobb számban válnak elérhetővé (Hengl et al. 2015; McBratney et al. 2003; Scull et al., 2005). Történetileg maga a talajtérképezés is a talajosztályozásra épült és maguk a talajtípusok erős didaktikus jelentőséggel bírnak. Talajtípus térképek különböző léptékekben és különböző osztályozási rendszerek



szerint készültek. A korszerű rendszerek (új nemzeti osztályozási rendszerek, World Reference Base, USDA Soil Taxonomy, Universal Soil Classification, Golden et al. 2010) térképezésben való alkalmazhatósága alapvetően az adott rendszer szerint osztályozott talajszelvények rendelkezésre állásától függ, az egyes rendszerek közötti korrelációs nehézségeknek köszönhetően (Michéli et al. 2006).

A hazai osztályozás genetikus alapokon nyugszik (Stefanovits 1963, 1972; Szabolcs 1966; Várallyay et al. 1979). Az utóbbi évtizedekben a diagnosztikus szemlélet egyre jobban áthatotta a különböző nemzeti és nemzetközi rendszereket. A magyar osztályozás is átalakuláson megy át (Michéli 2011; Michéli et al. 2014, 2015) hasonló rendszer kialakítását maga elé tűzve. A megújított osztályozási rendszer szerint besorolt, reprezentatív talajszelvények száma azonban jelenleg még nem éri el azt a kritikus szintet, ami lehetőséget nyújtana, hogy segítségükkel elő lehessen állítani egy, a megújult rendszeren alapuló országos talaj(típus)térképet.



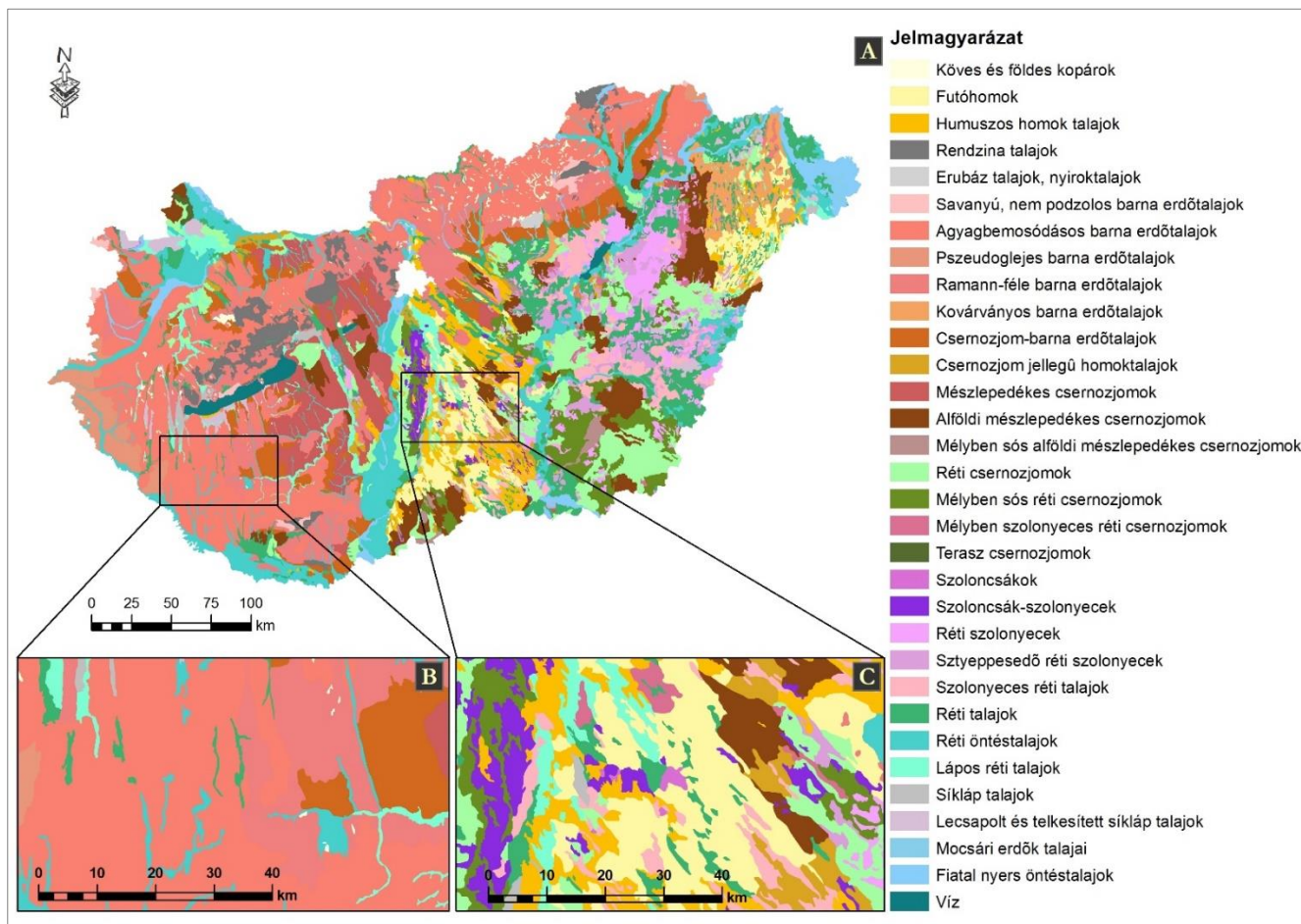
4.11 ábra A MÉM-NAK 1:200.000-es genetikus térképe (A); az erdő földhasználati önálló jelkulcsi elem (B); a térkép nagyobb léptékű genetikus térképek szintéziséből jött létre, melyek nem egységesen reprezentálták az országot; ennek eredménye a térkép mintázatában is szembeszökő (C).

Magyarországon a talajtakaró jellemzése a mezőgazdasági és az erdő területeken hagyományosan egymástól függetlenül és csak közelítőleg azonosan történik. A talajokra vonatkozó adatgyűjtés és az azokat tartalmazó adatrendszerek kezelése nincs tekintettel a másik (szak)területre. Következésképpen az országos talajtérképek nem tekinthetők homogén predikcióknak a mezőgazdasági és az erdő, illetve a síksági és a hegyvidéki területekre vonatkozóan. A szántóföldi és az erdészeti hasznosítás alatt álló területekre vonatkozó talajtani adatrendszerek egységesítésével egy harmonizált jelkulcsú és térben az eddigieknél jelentősen homogénebb prediktív teljesítménnyel rendelkező genetikus talajtérképet szerkesztettünk az ország teljes területére, egyhektáros térbeli felbontással a NAIK ERTI munkatársaival együttműködésben (Pásztor et al. 2018c). A térbeli modellezésben unikális módszereket használtunk, amelyek közül kiemelendő a többszintű és többlépcsős, illetve a szintetikus képekre vonatkozó objektum alapú osztályozás.

Az erdészeti termőhely térképek kizárólag erdő területekre készültek, míg az országos talaj(típus)térképek szerkesztéséhez csak erdőn kívüli területekről származó adatokat használtak. A MÉM-NAK 1:200.000-es genetikus térképe (Jeney & Jassó 1983) egyszerűen erdő földhasználati kategóriával kódolja az erdők dominálta domb- és hegyvidéki területeket. De az erdőkön kívüli területek talajtakarójának térbeli reprezentációja sem tekinthető homogénnek (4.11 ábra).

Az AGROTOPO genetikus típus rétege ugyan talajtípusokkal fedi le az erdők dominálta domb- és hegyvidéki területeket, de az alföldi területeknél jóval szerényebb tematikus és térbeli felbontással (4.12 ábra).

Következésképpen nem létezett olyan valódi, országos talaj(típus)térkép, amely a földhasználattól függetlenül, konzisztens képet adott volna a szántókra és erdőkre egy harmonizált jelkulcs szerint, térben homogén prediktív hatékonysággal és megbízhatósággal.

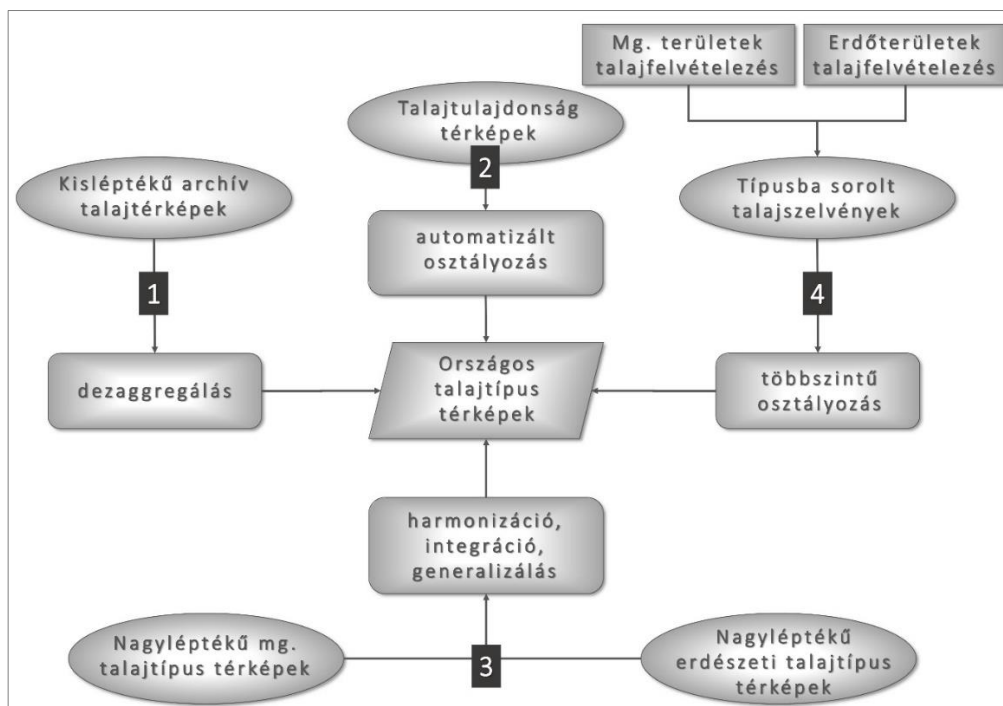


4.12 ábra Az AGROTOPO genetikai típus rétege (A). A különböző fiziográfiai, földhasználati jellegű területek térbeli reprezentációja inhomogén: erdőszódott dombvidéki terület (B); szántók dominálta síkvidék (C).

Néhány országos jelentőségű gyakorlati problémakör mellett leginkább talán Magyarország Nemzeti Atlaszában új kiadása jelentette a hajtóerőt egy új országos térkép megalkotására, amelyre az NAIK ERTI (korábban ERTI) munkatársaival együttműködésben vállalkoztunk. A térkép elkészítésének négy lehetséges módját vettük számításba (4.13 ábra).

1. Kísérletet tettünk az AGROTOPO genetikai térkép dezaggregálására, amely eljárás Duna-Tisza-közén történt előzetes alkalmazásáról a 2.5.2 fejezetben írtam. Az alföldi területeken az eljárás viszonylag jó eredményeket szolgáltatott, de a forrásként használt térkép erdő területekre vonatkozó alacsony predikciós erejét sajnos nem sikerült megfelelő mértékben javítani.
2. A második módszert, amely nem használt WRB besorolású talajszelvény adatokat, azok szűkös volta miatt, Dobos és munkatársai (2016) alkalmazták a Duna-medence WRB referencia talajosztály szintű térképének előállításakor. A némileg módosított e-SOTER módszertan automatikus osztályozási algoritmust futtatott végig a 463 méteres pixel felbontással készült diagnosztikus talajtulajdonság térképeken, amelyek regionalizált kvalifajerekként működtek (Dobos et al., 2011, 2013). A hazai osztályozás hasonló automatizált elvégzéséhez szükséges nagyszámú talajtulajdonságra azonban nem léteznek megfelelő felbontású, országos térképek.
3. Elméletileg jelentős potenciál rejlik a nagyléptékű térképezések során született 1:10.000-es léptékű üzemi genetikai és földértékelési talajtérképekben, illetve erdészeti termőhelytérképekben. Van azonban néhány gyenge pontja ennek az alulról építkező közelítésnek. (i) Ezen nagyléptékű térképek sem a szántók, sem az erdők területére nem készültek el átfogóan. (ii) Az elkészülteknek is csupán csekély hányada érhető el digitálisan feldolgozott formában. (iii) Az erdészeti térképeken nem jelennek meg talajfoltok, a termőhelyi típusok az erdőtagokhoz vannak rendelve.
4. Végül, de nem utolsósorban lehetőség van a két művelési ág eredeti felvételezéseinek szelvényadataihoz visszatérni és digitális talajtérképezés keretében ezekből felépíteni egy új, egységes, országos talaj(típus)térképet. Az előző három módszerre jellemző hátrányok miatt ezen az úton indultunk el.





4.13. ábra Az országos talajtípus térkép modellezésének négy számbavett, lehetséges módja.

A térképezési munkához egy harmonizált talajszelvény adatbázist állítottunk elő a TIM, a MARTHA és az ERTI termőhelyvizsgálatai és az erdőterületekre vonatkozó termőhelyi adatbázis adatainak felhasználásával, amelyben összességében 41 talajtípus fordult elő (4.10 táblázat). A talajképződési folyamatokat 32 nagyfelbontású, országos fedettségű, környezeti segédváltozó segítségével modelleztük (4.7 táblázat). A referencia pontok 20%-át fenntartottuk az osztályozási algoritmusok eredményeinek validálására.

Talaj csoport	Talajtípus	szántó	erdő	összesen
Váztalajok	Sziklás, köves váztalaj	15	167	182
	Kavicsos váztalaj	7	364	371
	Földes kopár	26	555	581
	Lejtőhordalék talaj	145	603	748
Homoktalajok	Futóhomok talaj	73	175	248
	Humuszos homok	107	18092	18199
	Rozsdabarna erdőtalaj	139	5970	6109
	Kovárványos barna erdőtalaj	63	2220	2283
Közethatású talajok	Humusz karbonát talaj	0	339	339
	Erubáz talaj	1	21	22
	Rendzina talaj	22	1197	1219
	Ranker talaj	0	486	486
Barna erdőtalajok	Savanyú, nem podzolos barna e.t.	0	556	556
	Podzolos barna erdőtalaj	10	333	343
	Agyagbemosódásos barna erdő t.	289	4926	5215
	Pszudoglejes barna erdőtalaj	204	1070	1274
	Barnaföld	127	4519	4646
	Karbonátmaradványos barna e.t.	8	517	525
Csernozjom talajok	Csernozjom barna erdőtalaj	172	222	394
	Kilúgzott csernozjom talaj	21	61	82
	Mészlepedékes csernozjom talaj	312	875	1187
	Réti csernozjom talaj	406	506	912
	Öntés csernozjom talaj	38	96	134
Szikes talajok	Szoloncás talaj	6	6	12
	Szoloncás-szolonyec talaj	9	5	14
	Réti szolonyec talaj	72	61	133
	Sztyeppesedő réti szolonyec talaj	23	66	89
	Másodlagos szikes talaj	0	4	4
	Szoloncásos réti talaj	9	34	43
Réti talajok	Szolonyeces réti talaj	52	106	158
	Típusos réti talaj	528	4626	5154
	Mélyben sós réti talaj	0	109	109
	Réti öntés talaj	289	815	1104
	Lápos réti talaj	74	396	470
Láptalajok	Réti csernozjom talaj	172	9	181
	Mohaláp talaj	1	1	2

	Síkláp talaj	9	948	957
	Telkesített láptalaj	6	0	6
	Mocsári erdőtalaj	0	1532	1532
Öntéstalajok	Nyers öntéstalaj	12	254	266
	Humuszos öntéstalaj	393	1878	2271

4.10. táblázat Harmonizált talajtípusok és előfordulásuk a kétfajta adatforrásban.

A megfelelően előkészített (transzformált, konvertált etc.) segédváltozókat egy szintetikus kép komponenseinek tekintve egy objektum alapú osztályozásnak vetettük alá. A szegmentálás eredményeként a talajképződési folyamatokat reprezentáló környezeti jellemzők homogén(nek tekinthető) térképi egységeit kaptuk meg, amelyeket talajfoltokként azonosítottunk és kezeltünk a további, többlépcsős osztályozások során.

A döntési fák, neurális hálókat és véletlen erdőket alkalmazó klasszifikációs algoritmusok során első lépésben a 9 nagyobb talajcsoport térbeli előfordulását becsültük a szegmensek talajcsoportba sorolásával. Második lépésben becsültük a talajcsoportok területén belül az egyes típusok előfordulását. Ez a kétlépcsős osztályozás nagyban növelte a becslések megbízhatóságának mértékét. Az elvégzett osztályozások közül a 12 legjobb modellt választottuk ki, melyek szintetizált eredményeként állt össze a végleges talajtípus térkép. Minden egyes képi objektum a típusát legmegbízhatóbban becsülő modell által kijelölt talajtípusba soroltunk, a végső térkép pedig a legjobb becslések szintetizálásával és mozaikolásával készült el.

Munkánk eredménye egy harmonizált jelkulcs szerinti, térben konzisztensen becslési megbízhatósággal jellemezhető országos talaj(típus)térkép (4.14 ábra). A hegy- és dombvidéki területek tematikus és térbeli reprezentációja messze meghaladja a korábbi országos, genetikus talajtérképekét. Mindeközben az alföldek talajtakarójának mozaikos jellege megmaradt, a nagy strukturális elemek (a Duna-Tisza-köze és a Nyírség homokjai; az alföldi szikes, réti és csernozjom területek) jól felismerhetők, miközben a korábbi térképek kiterjedt, látszólag homogén területei feldarabolódtak talajaik heterogenitása alapján.

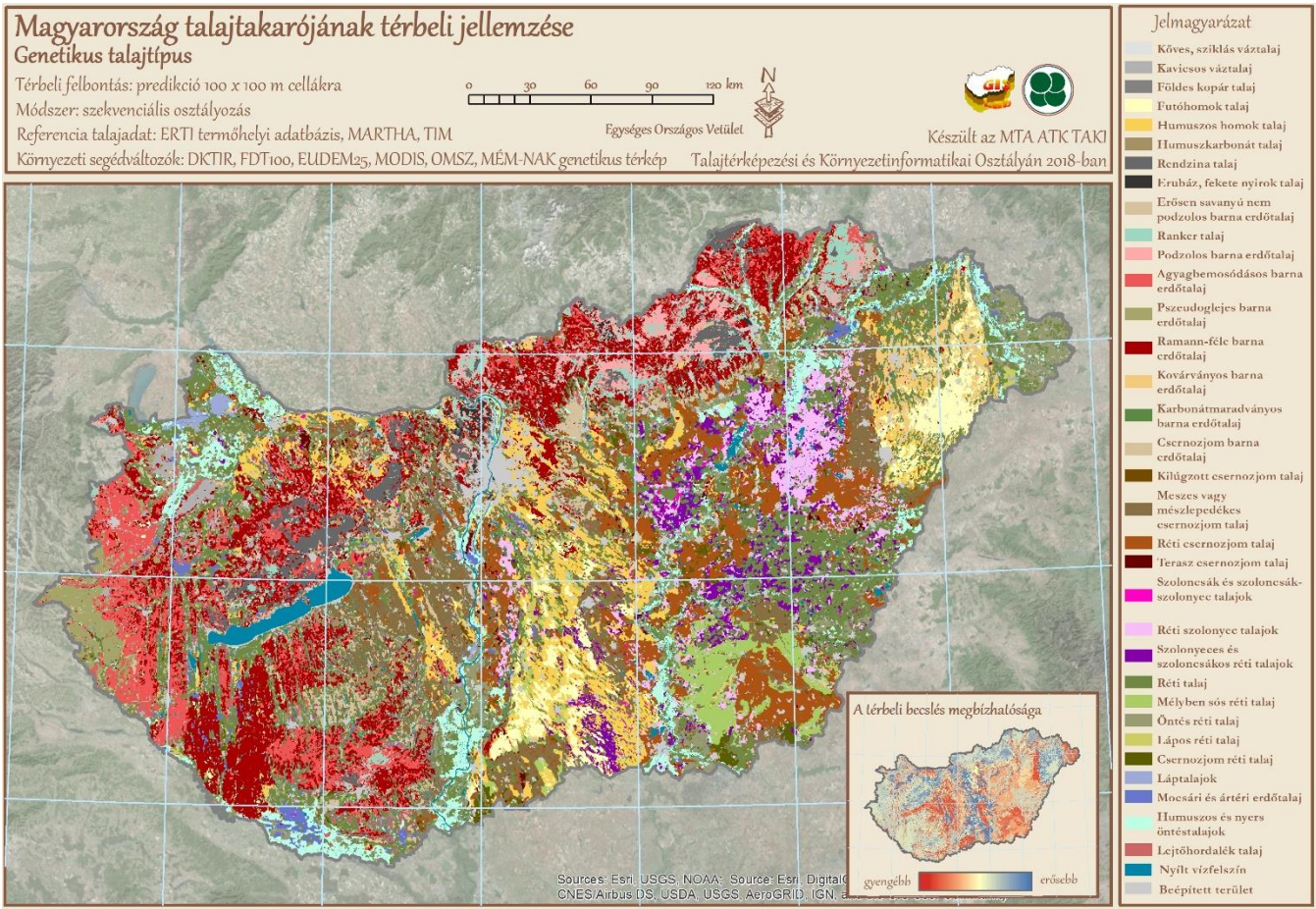
Összehasonlító vizsgálatokat végeztünk az új és a két korábbi térkép között, melyhez a két vektoros térképet egyhektáros felbontásra rasterizáltuk, illetve az új térkép rendszerébe illesztettük. A térképek hasonlóságát a teljes pontossággal (Overall Accuracy - OA), illetve a Cohen-féle kappá (Overall Kappa) (Cohen, 1960; Rossiter, 2014) mértékekkel becsültük. Az új, illetve a régi térképek mindkét mérték szerint inkább eltérőek, azaz a nagy vonalakban megjelenő hasonlóságok ellenére lokálisan igencsak eltérő becsléseket szolgáltatnak. Megvizsgáltuk ezen jelenség mennyiben általános, illetve kötődik nagyobb táji egységekhez (4.11 táblázat).

		Teljes pontosság	Cohen-féle kappá
AGROTOPO genetikus talajtérkép	alföldek	0,31	0,24
	dombvidék	0,27	0,15
	hegyvidék	0,29	0,18
MÉM NAK 1:200.000 genetikus talajtérkép	alföldek	0,36	0,29
	dombvidék	0,25	0,17
	hegyvidék	0,17	0,09

4.11. táblázat Az új és a két korábbi országos genetikus térkép összehasonlításának eredménye a három fő térszínre vonatkoztatva. A kisebb számok a térképek nagyobb eltérését jelzik.

Az új és a régi térképek közti különbségek a legnagyobbak a hegyvidéki, erdők uralta területeken. Az eltérés kisebb az AGROTOPO esetén, ami legalább talajtípusokkal írja le ezen területeket, szemben a MÉM NAK térképpel, ahol ezek erdőként vannak kódolva. Másrészt az alföldi területeken ez utóbbi térkép mutat nagyobb hasonlóságot az újjal, ami az elkészítésükbeli közös jegyeknek tulajdonítható. Viszonylag jól értelmezhetők ezek a megállapítások a két korábbi térkép szerkesztési módszertanának fényében. Mindkét térkép egy szintetizált, generalizált térképmű, de különböző alapanyagból és eltérő módszerek alapján születtek. Az AGROTOPO foltjainak lehatárolásában döntően a Kreybig térképek talajfoltjai játszottak szerepet. A foltokhoz rendelt attribútumok, így a talajtípus nem talajszelvények alapján, hanem a talajképződési folyamatokra rendelkezésre álló térképi információk interpretálásával születtek. Az 1:200.000-es MÉM NAK térkép forrása és alapanyaga az egyes megyékben született 1:10.000-es genetikus térképek, illetve ezek megyei integrált verziója, ami hagyományos kartográfiai módszerekkel készült. Az országos térkép tehát alapvetően genetikus szemlélettel születő alapadatokból építkezik, csak ezek több interpretáción és generalizáláson mentek át. Az ország alapadataival való lefedettsége nem volt egyenletes. Egyrészt maguk az alaptérképek is csak a nagygazdaságok üzemi területeire készültek el, ezek közt tehát extrapolál a szintetizált térkép, másrészt az egyes megyék térképezettsége is eltérő volt, ami látszólagos talajtani inhomogenitásként jelenik meg az országos térképen. Mindezen alapvető eltérések ellenére érdemesnek tartottuk összehasonlítani azt is, hogy a három térkép

dc 1576 18  
mėkkorā területi részarányt becsül az egyes talajtípusokra vonatkozóan (4.12 táblázat), ami lényegében szintén csak a hasonlóságai és különbségei jelzéseként tekinthető.



4.14. ábra Az újonnan előállított, harmonizált jelkulcs szerinti, térben konzisztensen becslési megbízhatósággal jellemezhető, országos talaj(típus)térkép.

Típus kód	Talajtípus	Terület (ha)		
		AGROTOPO genetikus talajtérkép	MÉM NAK 1:200.000 genetikus talajtérkép	Harmonizált jelkulcsú országos genetikus talajtérkép
110	Sziklás, köves váztalaj		10 738	6 253
120	Kavicsos váztalaj		11 836	76 235
130	Földes kopár	53 828	4 822	163 227
140	Futóhomok talaj	372 435	99 075	15 553
150	Humuszos homok	423 743	640 561	1 273 573
210	Nyers öntéstalaj	253 195	3 335	59 998
220	Humuszos öntéstalaj		554 508	414 024
310	Humusz karbonát talaj		2 598	50 201
320	Rendzina talaj	246 842	32 305	206 046
330	Erubáz talaj	14 813	442	21 715
340	Ranker talaj			152 626
410	Savanyú, nem podzolos barna erdőtalaj	39 259	113	38 041
420	Podzolos barna erdőtalaj		316	111 024
430	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj	1 483 198	813 400	593 451
440	Pszéudoglejes barna erdőtalaj	168 367	112 028	153 778
450	Ramann-féle barna erdőtalaj	868 462	798 665	1 039 247
460	Ramann-féle barna erdőtalaj, rozsdabarna			13 746
470	Kovárványos barna erdőtalaj	191 658	162 316	59 023
480	Csernozjom barna erdőtalaj	435 555	291 055	217 367
490	Karbonátmaradványos barna erdőtalaj			65 305
510	Kilúgzott csernozjom talaj		77 269	39 356
520	Mészlepedékes csernozjom talaj	943 472	483 017	476 746
530	Réti csernozjom talaj	1 015 093	991 973	1 052 983
540	Öntés csernozjom talaj	9 271	114 985	51 108
610	Szoloncás talaj	4 670	8 257	26 081
620	Szoloncás-szolonyc talaj	65 859	57 664	8 672

630	Réti szolonyec talaj	275 110	256 851	177 705
640	Sztyeppesedő réti szolonyec talaj	212 658	7 608	104 933
650	Másodlagos szikes talaj			12 172
710	Típusos réti talaj	779 730	749 357	1 410 316
713	Mélyben sós réti talaj			6 111
730	Szoloncsákos réti talaj		21 197	5 831
740	Szolonyeces réti talaj	242 065	256 738	186 887
750	Réti öntés talaj	772 865	586 934	520 324
760	Lápos réti talaj	179 580	67 529	67 469
770	Réti csernozjom talaj		231 631	86 747
810	Mohaláp talaj			646
820	Síkláp talaj	41 613	45 312	42 039
825	Teljesített láptalaj	90 685	65 671	5 764
910	Mocsári erdőtalaj	7 984	3 595	66 300
930	Lejtőhordalék talaj		52 684	148 184
990	Erdőmaradványos csernozjom talaj		188 028	

4.12. táblázat Az új és a két korábbi országos genetikus térkép összehasonlítása: a talajtípusok területi előfordulása az egyes térképeken.

Eredménytérképünk validálását kétféle módon végeztük. Egyrészt a harmonizált szelvény adatbázis validálás céljából elkülönített 20%-ával becsültük az osztályozások pontosságát mind főtípus, mind típus szinten. A főtípus szintű validálás tévesztési mátrixát és az ebből számított pontossági (m)értékeket a 4.13 táblázat tartalmazza. Az átlagos előállítói pontosság (EP) 0,5, az átlagos felhasználói pontosság (FP) pedig 0,6. Az EP és FP értékek alapján a leggyengébb becslés a szikesek és a váztalajok esetében adódott. A legjobb predikciót a homok-, barna erdő- és az öntéstalajok szolgáltatották. A teljes pontosságra jellemző kappa 0,7-es értéke a Landis-Koch-féle kategorizálás (Landis & Koch 1977) szerint a közepes és a lényeges határára eső egyezést mutat.

		referencia szelvény típusa									Összesen	Felhasználói pontosság
		Csernozjom talajok	Barna erdőtalajok	Homoktalajok	Közethatású talajok	Láptalajok	Öntés talajok	Réti talajok	Szikes talajok	Váztalajok		
becsült típus	Csernozjom talajok	246	12	147	6	5	16	80	18	12	542	0,45
	Barna erdőtalajok	26	2054	280	258	31	6	68		207	2930	0,70
	Homoktalajok	139	141	4492	19	59	12	408	3	34	5307	0,85
	Közethatású talajok		102	8	112			1		20	243	0,46
	Láptalajok	2	6	28		232	9	17			294	0,79
	Öntés talajok	17	4	28	1	49	349	81	2	8	539	0,65
	Réti talajok	94	101	338	4	115	111	719	50	17	1549	0,46
	Szikes talajok	4		7		1		19	19		50	0,38
	Váztalajok	13	98	34	13	6	4	11		78	257	0,30
Összesen		541	2518	5362	413	498	507	1404	92	376	11711	
Előállítói pontosság		0,45	0,82	0,84	0,27	0,47	0,69	0,51	0,21	0,21		
Cohen-féle kappa												0,6
Teljes pontosság												0,7

4.13. táblázat A főtípus szinten elért legjobb osztályozások tévesztési mátrixa és pontossági mértékei.

A validálás céljából fenntartott pontok segítségével becslést adtunk az egyes talajtípusok predikciós megbízhatóságára is (4.14 táblázat), ami a korábban készült térképekhez képest egy másik jelentős előrelépés, hisz ezek a számok tájékoztatást adnak a felhasználónak arról, hogy adott típusú térképi objektumot milyen megbízhatósággal reprezentál a térkép. Habár jelentős eltérések vannak az egyes típusok osztályozási pontosságában, a legjelentősebb talajtípusok előfordulását viszonylag megbízhatóan adja vissza a térkép. A ritkább, vagy speciális termőhelyeken a bizonytalanság megnő, de országosan így is közel 70%-os megbízhatósági szintet értünk el.

A belső validálás mellett kísérletet tettünk külső validálásra is digitálisan feldolgozott 1:10.000-es genetikus térképek felhasználásával, melyeket a harmonizált jelkulcsú, új genetikus térkép rendszerébe illesztve



részterizáltunk egyhektáros felbontással. A kétfajta térkép által becsült talajtípusokat pixel alapon vetettük össze. Az eredményeket a 4.15 táblázatban foglaltam össze. Az egyes cellák területi értéket tartalmaznak hektárban megadva. A modellezés során alkalmazott főtípusokba tartozó típusokat azonos színek jelölik a főtípusokon belüli félreosztályozások nyilvánvalóbbá tétele érdekében. A váztalajok és a szikesek többé-kevésbé pontosan osztályozódtak legalábbis főtípus szinten. Viszont alapvetően igen alulreprezentáltak, ami nem meglepő hisz az üzemi genetikus térképek nagygazdaságok területére készültek, amelyek jellemzően termelésre alkalmasabb területeken gazdálkodtak. Az erdő és csernozjom talajok predikciója is viszonylag jónak mondható, bár nagy számban fordulnak elő félreosztályozások is. Vannak olyan becsült típusok, amelyek szinte minden referencia osztályban előfordulnak. A hagyományos magyar osztályozás tartalmaz néhány, egymással könnyen összecserélődő típust, mint például a réti csernozjom (530) és a csernozjom réti (770) talajok (Michéli et al. 2014; Sisák 2016). Ezek félreosztályozása a mi eredményeinkben is jól megfigyelhető.

Talajtípus	Megbízhatóság	Talajtípus	Megbízhatóság
Sziklás váztalaj	49%	Mészlepedékes csernozjom talaj	35%
Kavicsos váztalaj	81%	Réti csernozjom talaj	46%
Földes kopár	42%	Öntés csernozjom talaj	58%
Futóhomok	59%	Szoloncsák talaj	100%
Humuszos homok	86%	Szoloncsák-szolonyec talaj	64%
Nyers öntés talaj	61%	Réti szolonyec talaj	53%
Humuszos öntés talaj	69%	Sztyeppesedő réti szolonyec talaj	74%
Humuszkarbonát talaj	67%	Másodlagos szikes talaj	100%
Rendzina talaj	78%	Réti talaj komb.	42%
Erubáz talaj	91%	Típusos réti talaj	61%
Ranker talaj	73%	Szoloncsákos réti talaj	53%
Savanyú, nem podzolos barna erdőtalaj	69%	Szolonyeces réti talaj	39%
Podzolos barna erdőtalaj	71%	Réti öntés talaj	36%
Agyagbemosódásos barna erdőtalaj	65%	Lápos réti talaj	44%
Pszudoglejes barna erdőtalaj	59%	Csernozjom réti talaj	49%
Ramann-féle barna erdőtalaj	59%	Mohaláp talaj	50%
Rozsdabarna erdőtalaj	57%	Síkláp talaj	87%
Kovárványos barna erdőtalaj	79%	Telkesített láp talaj	83%
Csernozjom barna erdőtalaj	55%	Öntés erdő talaj	52%
Karbonát-maradványos barna erdőtalaj	46%	Lejtőhordalék erdőtalaj	28%
Kilúgzott csernozjom talaj	70%	Összes típus	67%

4.14. táblázat Az egyes talajtípusok becsült megbízhatósága az eredmény térképen.

Mivel a nagyméretarányú térképek csak a mezőgazdasági területekre készültek, az erdő területekre vonatkozóan a külső validálás független erdészeti forrásokból származó termőhely leírásokon alapult. 14 megyéből összesen 3253 leírást tudtunk használni. Az ezekkel történő validálás eredménye 65%-os becsült pontosságot mutatott, ami meglehetősen jól egyezik a belső validálásra kapott 70%-os teljes pontossággal.

A külső validáláshoz használt információk esetleges, reprezentatívnak egyáltalán nem tekinthető volta miatt ezen eredmények inkább csak jelzésértékkel kezelendők.

ö_r_18		üzemi genetikus térkép térkép szerinti talajtípus																															
		váz				homok		kőzet			erdő				csernozjom				szikes					réti				láp			öntés		
		110	120	130	930	140	150	310	320	330	410	430	440	490	480	520	530	540	610	620	630	730	740	710	750	760	770	820	825	910	210	220	
becsült talajtípus	váz	110	0	0	35	9	0	0	0	0	9	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		120	0	10	3	44	0	5	0	0	3	0	51	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	20	2	7	0	0	1	0	0	0	
		130	15	7	82	257	0	10	5	33	4	0	526	6	1	612	37	17	0	0	0	0	0	38	7	0	2	0	1	0	0	6	
		930	0	1	22	235	0	6	0	31	7	0	885	1	12	518	17	36	0	0	0	1	3	3	81	17	18	7	9	15	3	0	33
	ho-mok	140	0	0	0	0	0	83	0	0	2	0	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	7	4	2	0	0	0	0	0	1	
		150	0	0	0	43	102	5925	0	0	0	0	119	25	0	14	60	591	39	0	3	3	41	9	238	359	126	224	0	0	0	0	45
	kőzet	310	3	0	8	22	0	0	0	0	0	0	111	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
		320	117	0	42	88	0	0	12	61	51	3	248	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	2	
		330	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	erdő	410	0	0	8	14	0	0	0	0	39	0	214	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		430	0	10	98	220	0	16	6	0	328	0	1651	84	0	175	16	0	0	0	0	0	0	108	22	2	0	9	13	0	2	180	
		440	0	2	3	39	0	31	0	0	0	0	105	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	12	0	6	0	4	0	21	
		490	0	0	0	39	1	7	0	0	0	0	508	0	0	7	15	0	0	0	0	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0	10	
	csernozjom	480	0	0	15	266	1	36	0	2	118	0	1062	21	0	1827	216	461	0	0	0	21	0	163	139	30	124	0	1	6	15	75	
		520	0	0	0	128	2	269	0	0	0	0	315	0	0	390	754	1168	0	0	0	50	25	87	277	16	16	390	0	0	0	0	38
		530	0	0	0	115	1	6	0	0	16	0	520	0	0	1516	421	3705	0	0	25	80	374	693	713	141	1	1150	0	0	0	0	153
540		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	10	2	90	0	0	9	71	36	39	148	6	0	85	0	0	0	0	64	
szikes	610	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	1	0	36	0	0	0	0	8	17	140	34	0	13	0	0	0	0	67	
	620	0	0	0	0	0	124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0		
	630	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	67	0	0	0	210	24	529	736	17	0	101	0	0	0	0	24	
	730	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	740	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	19	119	7	0	10	164	107	792	864	18	0	78	0	0	0	0	31	
réti	710	87	15	23	564	0	300	20	47	70	0	936	54	7	830	60	2234	3	94	256	817	165	2365	6661	757	504	956	50	226	33	21	798	
	750	14	7	23	372	0	65	1	21	50	0	652	28	0	538	0	506	0	0	0	45	40	514	1384	441	221	243	9	70	6	1	454	
	760	0	0	6	85	0	59	0	1	39	0	13	0	0	34	0	4	0	0	0	0	0	5	56	27	33	0	56	42	0	0	55	
	770	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	37	0	312	0	0	0	9	0	51	171	0	0	181	0	0	0	0	0	
láp	820	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86	0	0	0	0	18	0	68	0	0	0	0	9	0	2	21	
	825	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	1		
	910	20	5	8	152	0	4	0	31	28	0	33	1	0	22	0	112	0	0	0	1	76	105	801	129	124	80	3	11	3	0	15	
ön-tés	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	2	21	3	0	0	0	0	0	0	0	22	
	220	1	0	0	67	0	26	0	0	11	0	135	0	0	175	0	65	0	0	0	0	0	69	241	289	0	9	0	0	0	0	37	

4.15. táblázat A külső validáció eredménye: a felhasznált üzemi genetikus térképek és az új prediktív térkép talajtípusainak tévesztési mátrixa.

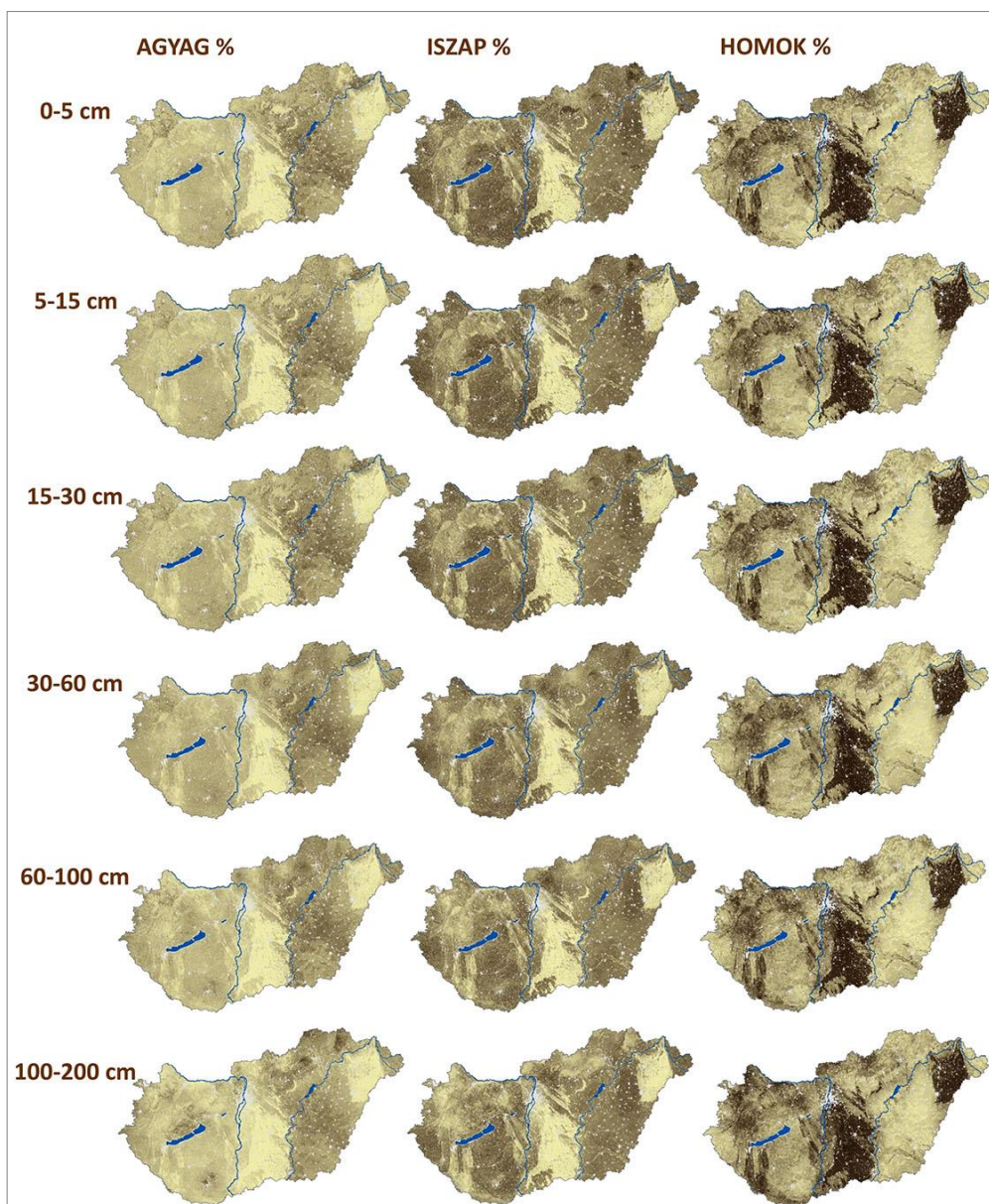
A munkánk eredményeképpen előállított, harmonizált jelkulcs szerinti, térben konzisztensen becslési megbízhatósággal jellemezhető országos talaj(típus)térképpel jelentős előrelépéseket tettünk, de ennek ellenére sem tekintjük tökéletes, avagy végleges térképi terméknek. Finomításának, javításának számos módzata lenne. Ezek közül csak hármat emelnék ki:

- A modellezési folyamat elemeinek tökéletesítésével a térkép bármikor megújítható. Ezen a téren a legfontosabb előrelépést a referencia adatok újabb, minőségi adatokkal való bővülése jelentené.
- A genetikus térkép előállítás, hasonlóan a dolgozatban bemutatott többi térképéhez, egy független folyamat keretében történt. Az egyes talajjellemzők közötti kapcsolatok azonban felhasználhatók lehetnek a térbeli modellezések folyamán. A termőrétegvastagságra vagy fizikai féleségre vonatkozó információk például kizárhatnának, vagy alátámaszthatnának bizonyos, a talaj típusára vonatkozó becslési eredményeket. Ilyen típusú csatolt, illetve szukcesszív digitális talajtérképezési módszerek kidolgozásán jelenleg is dolgozunk.
- Kihangsúlyozandó, hogy az elkészült térkép a hagyományos hazai talajosztályozáson alapul. Ennek egyik legfőbb oka a megújított osztályozás szerinti talajszelvény leírások korlátozott elérhetősége. Amennyiben megfelelő számosságú helyszínen rendelkezik az új osztályozás szerinti besorolással, munkánkat mindenképpen szeretnénk megismételni, hogy előálljon Magyarország megújított talajosztályozás szerinti talaj(típus)térképe.

Mivel az új, országos kiterjedésű és részletes talaj(típus)térkép mezőgazdasági és erdészeti adatbázisok egyesítésével és közös szakembergárdával készült, korlátozások nélkül lehet egyaránt mezőgazdasági és erdészeti hasznosítási kérdések esetében felhasználni, ezzel egyrészt a szektorok közti együttműködést és átjárhatóságot megkönnyítve, másrészt országos területrendezéshez és földhasználati tervezéshez jól használható alapanyagot nyújtva.

#### 4.3 Kapcsolódás térbeli talajinformációk előállítását és rendelkezésre bocsátását kezdeményező globális együttműködésekhez

A DOSoReMI.hu gondolatkör egyik fontos célkitűzése a hazai mellett a nemzetközi igényeket kielégítő digitális talajtérképek létrehozása. Ezek közül két nemzetközi kezdeményezésről, illetve a hozzájuk történő csatlakozás eredményeiről szeretnék itt röviden megemlékezni.



4.15. ábra GSM.net standard szerinti országos agyag-, iszap- és homoktartalom térképek (forrás: Laborczy 2018).

A Nemzetközi Talajtani Uniónak több kezdeményezése is volt egy megbízható, egységes, globális talajtérkép (térbeli talaj adatbázis) megalkotására. A megvalósítás tervezett módját az adott időszak technológiai lehetőségei határozták meg. Ezek közül a legutóbbi az IUSS Digitális talajtérképezés munkacsoportjának indítványa. Ennek keretében egy globális konzorcium alakult, melynek célja egy új, digitális, nagy részletességű, világ „talajtérkép” (GlobalSoilMap; GSM; <http://www.globalsoilmap.net/>) létrehozása a legkorszerűbb talajtérképezési technológiák felhasználásával, melyeket talajtulajdonságok nagy felbontású térbeli becslésére dolgoztak ki. Az új globális „talajtérkép” standardizált horizontális és vertikális felbontásban előállított tematikus térképek összessége, melyek elsődlegesen alap, kvantitatív talajtulajdonságokat jelenítenek meg. Ezek felépítése és összetétele azonban olyan, hogy felhasználásukkal könnyedén származtathatók legyenek további interpretált és funkcionális bővítmények, amelyek célja, hogy a döntéseket segítsék számos globális kérdésben, mint például az élelmiszer-termelés, az éhezés felszámolása, a klímaváltozás és a környezet pusztulása. Az egész kezdeményezés háttérében az a felismerés áll, hogy jelentős szükséglet mutatkozik globális szinten is a pontos, lehetőség szerint mindinkább naprakész és térben explicit talajinformációkra. A GlobalSoilMap és a DOSoReMI.hu három szinten is kapcsolódik.

- Mindkét kezdeményezés háttérében hasonló hajtóerők munkálnak.
- A GSM inspirálta a DOSoReMI.hu elindítását, mivel a nemzeti adatok használata, párosulva a helyi tudással, várhatólag jóval megbízhatóbb eredményeket szolgáltat egy ország területére, mint ha mindez külső erőforrásokon alapul.

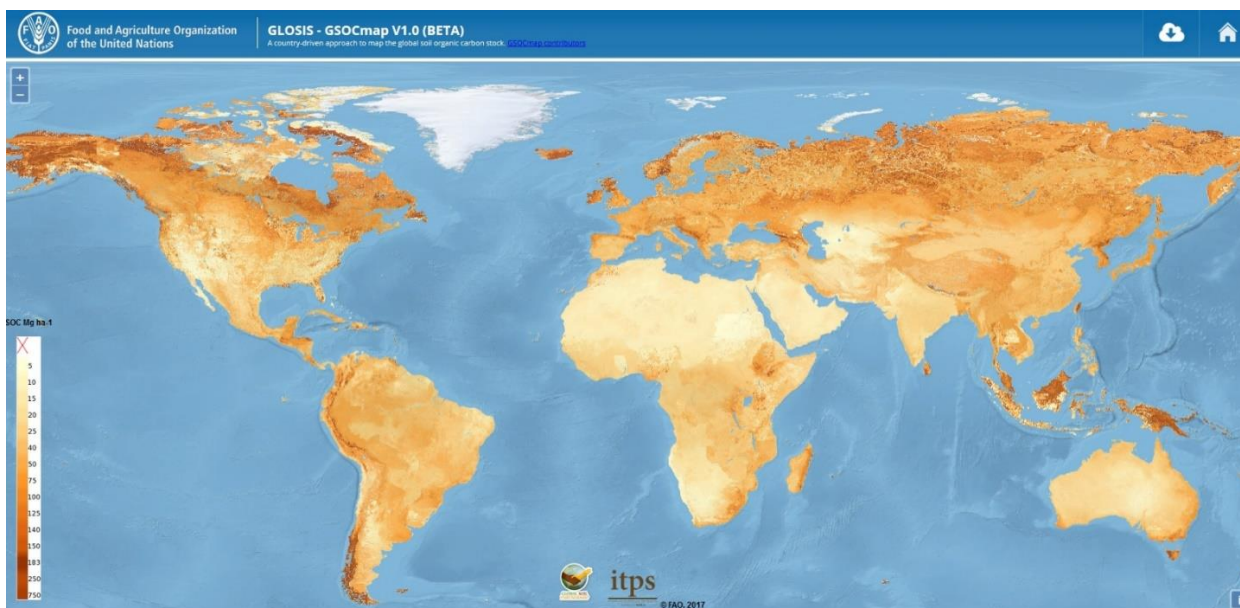
- A DOSoReMI.hu képes a GSM adatigényét kiszolgálni Magyarország területére, így a DOSoReMI.hu-t bizonyos szemszögből tekinthetjük a nemzetközi kezdeményezés hazai megvalósulásaként is (Pásztor et al. 2018).

Mindezeket túl a GSM által definiált specifikációk jól használható keretet nyújtanak, irányt szabnak a DOSoReMI.hu keretében zajló munkálatoknak. Elsődlegesen milyen paraméterek mentén készüljenek országos talajtérképek, hiszen a GSM mintegy szabványt szolgáltatva jól definiált geometriai, mélységi, tematikus és pontosság meghatározási specifikáció alapján tervezi lefedni a szárazföldek teljes területét talajtani alapinformációkkal (Arrouays et al. 2014). A GSM specifikációnak köszönhetően jellemzi döntően az egyhektáros felbontás az új térképeinket és a mélységi rétegekre való bontást is jellemzően a GSM szerinti 0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100, 100-200 felosztás szerint történik (4.15 ábra). Ugyancsak a GSM.net szerinti specifikáció szerint történik egyes térképeink bizonytalansági elemzése a becslésre vonatkozó 90%-os megbízhatósági intervallum megadásával. A GSM.net konform predikcióink eredménye közvetlenül becsatlakoztatható a GSM.net rendszerébe.

A térképek előállításán túl vizsgálatokat végeztünk arra vonatkozólag, hogy az egyes rétegekre vonatkozó predikciók aggregálása mennyire tér el attól, ha ugyanazt a predikciót közvetlenül az aggregálásban résztvevő rétegekre végezzük el. A munka részletes bemutatása Laborci Annamária doktoranduszom doktori dolgozatában (Laborci 2018), illetve Laborci és munkatársai (2018) cikkében szerepel, itt relevanciája miatt teszek róla említést és csak körvonalazom a problémát, illetve annak legfőbb üzenetét.

Digitális talajtérképezési eljárásokkal országos szemcsefrakció- és textúra osztály térképeket készítettünk nemzetközi standard mélységi szintekre (0-5, 5-15, 15-30 cm), illetve közvetlenül a 0-30 cm-es rétegre vonatkozóan az ország teljes területére 100 m felbontásban. A 0-5, 5-15, 15-30 cm-es mélység térképek értékeinek súlyozott átlagolásával is szintetizáltunk a 0-30 cm-es rétegre vonatkozó megfelelő szemcsefrakció- és textúra osztály térképeket. A célspecifikus, illetve a szintetizált térképek előállítása ugyanazon segédadatok felhasználásával és térbeli kiterjesztési módszerrel történt, így releváns összehasonlító elemzéseket lehetett végezni. Alapvető statisztikai összehasonlításon kívül a különbségek térbeli eloszlását is értékeltük. A célspecifikusan előállított-, és a szintetizált szemcsefrakció (agyag- és homoktartalom) térképek között szignifikáns eltérés mutatkozott. A textúra osztályok tekintetében az egész térképre vonatkozóan szignifikáns eltérés nem volt kimutatható, azonban az egyes osztályok területi megoszlásában jelentős eltérések mutatkoznak, amelyek hatással lehetnek a térképek további felhasználásakor. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a szintetizálás során olyan hibák torzítások léphetnek fel, amelyek a térképek modellbe építésekor a további kutatások eredményeit torzíthatják. Eredményeink legfőbb üzenete, a közvetlenül előállított, célspecifikus térképeket javasoljuk a szintetizáltakkal, származtatokkal szemben.

#### 4.3.2 GSOC17@hu



4.16. ábra A világ talajainak új szerves szén térképe (forrás: <http://54.229.242.119/apps/GSOCmap.html>).

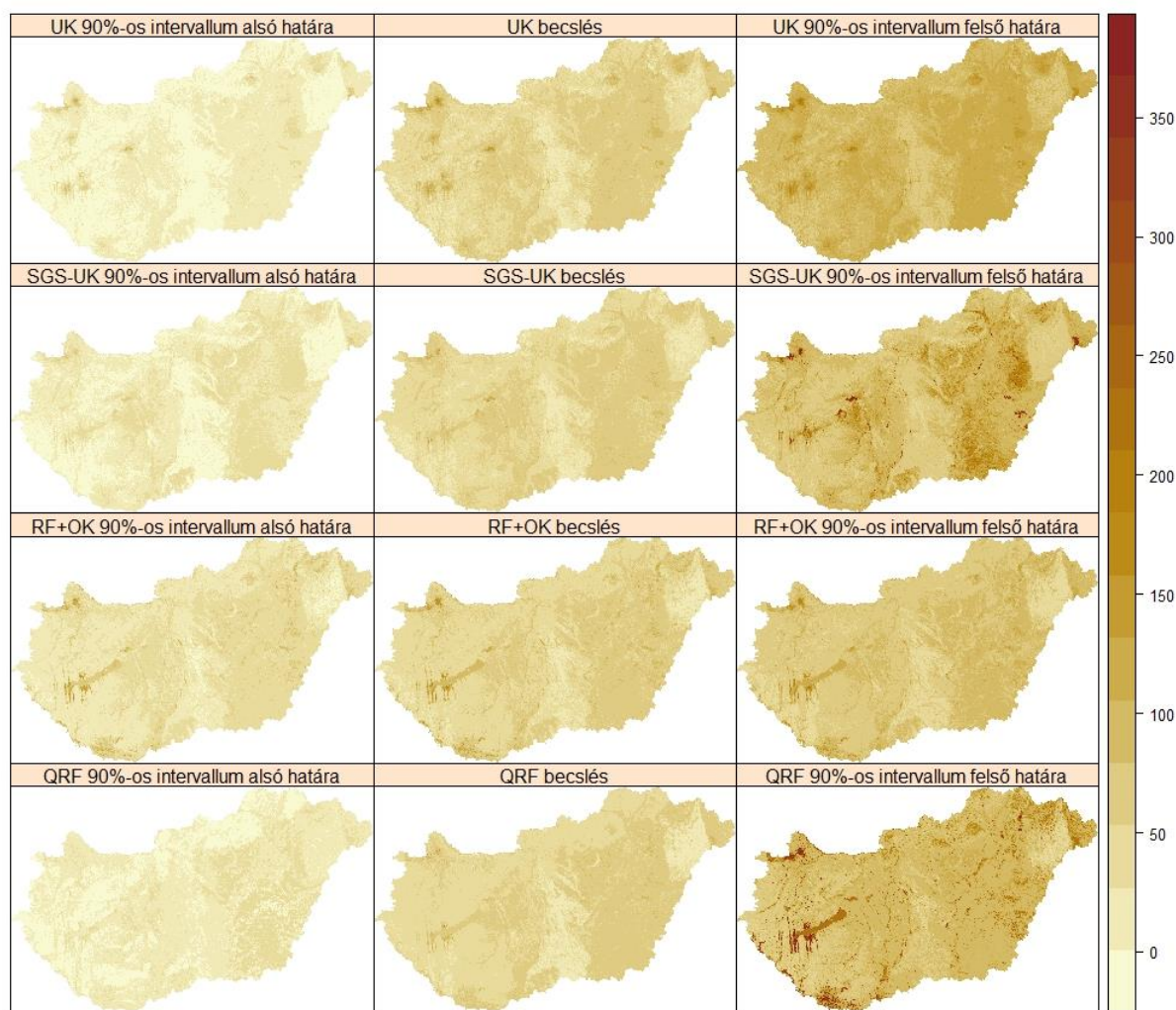
A talajok sokrétű jelentőségét és a talajerőforrásokkal való gazdálkodás globális kihívásait felismerve az ENSZ Mezőgazdasági Szervezete (FAO) 2012-ben létrehozta a Global Soil Partnership (GSP) programot, amely mára intézményesült formában szolgálja a talajokkal kapcsolatos információs igényeket. A globális partnerség első



dc\_1576\_18

közös terméke a világ talajainak új szerves szén térképe (Global Soil Organic Carbon Map; 4.16 ábra), amelynek publikálása (<http://54.229.242.119/apps/GSOCmap.html>) 2017. december 5-én, a Talajok Világnapján történt meg.

A globális térkép magyarországi területére vonatkozóan (4.17 ábra) a térképi munkálatok az intézetben folytak (Sztalmári & Pásztor 2018). A referencia adatot a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM) alapállapot felmérései (1994–1995) szolgáltatották. A térbeli kiterjesztéshez használt környezeti segédinformációk: digitális domborzat modell és derivátumai, műholdképek, klimatikus fedvények, talajtípus térkép, illetve Magyarország földtani térképe. A térkép elkészítéséhez geostatistikai és gépi tanulási módszerek (univerzális krigelés [UK], univerzális krigelésen alapuló szekvenciális sztohasztikus szimuláció [SGS+UK], hagyományos krigeléssel kombinált véletlen erdők [RF+OK] és kvantilis regresszió erdő [QRF]) alkalmazása és az ezek alapján született becslési eredmények optimalizálása vezetett. Az eredmények alapján a QRF és SGS-UK pontos és precíz lokális bizonytalansági modellt szolgáltatottak. Az UK által nyert bizonytalansági modell pontos volt, de nem precíz. RF+OK nyújtotta a leggyengébb bizonytalansági modellt, mivel nem bizonyult sem pontosnak, sem precíznek. A validációt követően a QRF módszerrel előállított szerves szénkészlet térkép került a globális szerves szénkészlet térképbe, mely alapján, Magyarországon a talaj felső 0-30 centiméteres rétegében, illetve a lápokban 100 cm mélységig raktározott szerveskötésű szén becsült össz mennyisége 0,48 Pg C.



4.17. ábra A világ talajainak új szerves szén térképének hazai előállítására végzett térbeli modellezések eredményei (forrás: Sztalmári & Pásztor 2018).

#### 4.4 Az elsődleges talajjellemzők országos térképezésének eredményei

A talaj téradat infrastruktúra megújítást célul tűző DOSoReMI.hu során folyamatosan születtek országos fedettségű, tematikus talajtulajdonság térképek a talaj egyes rétegeire vonatkozóan, különböző digitális talajtérképezési módszerek felhasználásával. Az egyes célváltozók modellezése különböző térbeli kiterjesztési eljárások sorával történt, melyek közül az eredménytérképekre elvégzett pontossági vizsgálatok alapján választottuk ki a legjobban teljesítőt és egyben az azt szolgáltató paraméter együttest. Az elkészült térképek részben a GlobalSoilMap.net specifikációi szerint, részben azok kisebb-nagyobb mértékű változtatásával születtek.

a felhasználói igények figyelembevételével. Ezeken túl, diagnosztikus talajjellemzőkre vonatkozó unikális, illetve kísérleti jelleggel néhány általánosabb értelemben vett, nagy térbeli felbontású, országos talajtérképet is szerkesztettünk. Az adott jellemzőkről soha korábban nem születtek térképi alapú elemzések, főképp nem a modellezésben használt egyhektáros felbontásban az ország teljes területére vonatkozóan. A kutatások keretében, illetve annak folyamányaként szerkesztett országos, tematikus, digitális talajtérképeink sokrétűen hasznosul(hat)nak többek közt az agrárkörnyezeti programok területi lehatárolása, öntözésre alkalmas területek kijelölése, természeti hátrányokkal érintett területek lehatárolása, belvíz területi előfordulásának kockázati modellezése, meteorológiai folyamatok előrejelzése, potenciális élőhelyek, illetve ökoszisztéma szolgáltatások térképezése, országos területrendezési terv számára kiváló és jó termőhelyi adottságú szántó területek lehatárolása során.

A térbeli talajinformációk (alap és általánosabb értelemben vett talajtérképek) értelmezésének és előállításának új paradigmarendszere szerint az újonnan előállított talaj téradatok és az azok alapján szerkesztett, kartografált térképek az adott tematikán túl az elkészítésükre és a pontosságukra vonatkozó információkkal együtt alkotnak egységes adatrendszert. Az eddig elkészült országos térképekre vonatkozó becslt, globális pontossági adatokat a 4.16 táblázat foglalja össze.

Mélylégi rétegekre vonatkozó tulajdonságok	GSM.net standard mélylégi rétegek [cm]						Egyenközü rétegek [cm]		
	0-5	5-15	15-30	30-60	60-100	100-200	0-30	30-60	60-90
szervesanyagtartalom [%]	1,16 <sup>a</sup>	1,09 <sup>a</sup>	0,87 <sup>a</sup>	0,68 <sup>a</sup>	0,56 <sup>a</sup>	0,5 <sup>a</sup>	1,0 <sup>a,b,c</sup>	0,68 <sup>a</sup>	
szerves szén tartalom [t/ha]							10,4 <sup>a</sup>		
pH	0,82 <sup>a</sup>	0,80 <sup>a</sup>	0,73 <sup>a</sup>	0,65 <sup>a</sup>	0,63 <sup>a</sup>	0,62 <sup>a</sup>	0,7 <sup>a,b</sup>	0,65 <sup>a</sup>	
elektromos vezetőképesség [dS/m]							1,4 <sup>b</sup>		
térfogattömeg [g/cm <sup>3</sup> ]							0,2 <sup>a</sup>		
homok [%]	17,4 <sup>a</sup>	17,0 <sup>a</sup>	16,9 <sup>a</sup>	17,0 <sup>a</sup>	19,7 <sup>a</sup>	23,3 <sup>a</sup>	16,3 <sup>a</sup>	17,0 <sup>a</sup>	
iszap [%]	14,2 <sup>a</sup>	13,6 <sup>a</sup>	13,1 <sup>a</sup>	12,7 <sup>a</sup>	14,9 <sup>a</sup>	18,6 <sup>a</sup>	13,1 <sup>a</sup>	12,7 <sup>a</sup>	
agyag [%]	10,0 <sup>a</sup>	9,6 <sup>a</sup>	9,2 <sup>a</sup>	9,3 <sup>a</sup>	10,4 <sup>a</sup>	11,0 <sup>a</sup>	8,9 <sup>a</sup>	9,3 <sup>a</sup>	
textúra osztály (USDA)	83%	84%	84%	83%	81%	80%	85%	83%	
mésztartalom [%]									
<b>Teljes szelvényre vonatkozó tulajdonságok</b>									
genetikus talajtípus (hagyományos)	70% <sup>a, c, e</sup>								
termőréteg vastagság [cm]	25,1 <sup>a</sup>								
durva vázrészek 0-100 cm-ben [%]	19,8 <sup>a</sup>								
maximum pH a 0-150 cm-ben	0,8 <sup>b</sup>								
kicserélhető nátrium 0-100 cm-ben [%]	21,6 <sup>b,d</sup>								

4.16. táblázat A DOSoReMI.hu keretében született térképek becslt globális pontossága kvantitatív típusú térképek esetén RMSE értékkel, kategória típusúaknál a teljes pontossággal megadva. A legjobban teljesítő térbeli modellben használt referencia adatrendszerre a felső indexekben használt betűk utalnak (a: TIM, b: DKTIR, c: AIIR, d: MARTHA, e: erdészeti)

Az elkészült országos digitális talajtulajdonság és általánosabb értelemben vett talajtérképeket a <http://dosoremi.hu/index.html> portálon keresztül két formában tesszük strukturáltan elérhetővé (4.18 ábra). A strukturált szolgáltatás lényege, hogy 4.16 táblázat szerinti elrendezésben, tudatos választás alapján tudja a felhasználó kiválasztani, mely tulajdonságra és mely rétegre vonatkozó térképet szeretné megjeleníteni. Az atlasz verzióban (4.19 ábra) készre szerkesztett képi formátumban jelenítjük meg Magyarország talajtakarójának különböző jellemzőit. A térképek szabadon letölthetők. A talajjellemzőkre vonatkozó interaktív térképek (4.20 ábra) szabadon böngészhetők. A tematikus tartalom nagyítása és változtatható átlátszóságú megjelenítése, illetve kétféle módon választható alaptérképi háttér segíti a földrajzi térben való tájékozódást. A térképek mindkét verziója tartalmazza az elkészítésükre és a pontosságukra vonatkozó információkat (felhasznált referencia és segédadatok, illetve a módszer). A talajportál<sup>11</sup> térképekkel való feltöltése folyamatos.

<sup>11</sup> A DOSoReMI talajportál a Szép Magyar Térkép 2017 pályázaton dícséretben részesült.

18

dosoremi.hu/talajzasat.html

30%

Keresés

Legtöbbbetűt illogatott

Getting Started

Roundcube Webmail

Geodema - Journal

MTA TAD Fehér

Levelezés - Beérkezett

MTA SZTAK: Angol-M...

Szótár Akadémiai Kiadó

BOK Info közeli közék...

Budapest aktuális forg...

Közelebbi dugók, h...

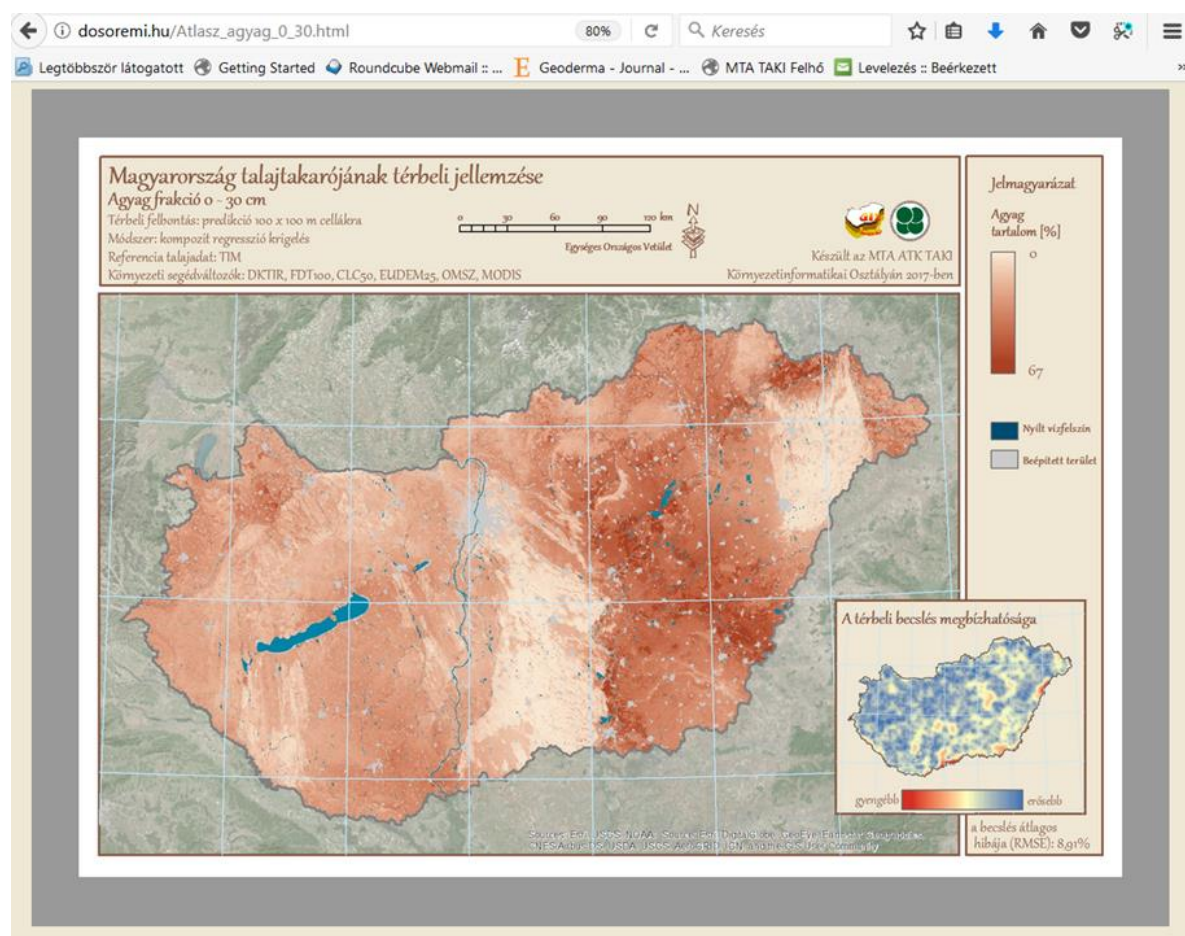
Magyarország talajtakarójának atlasza

Vissza a főoldalra

Tematika választás

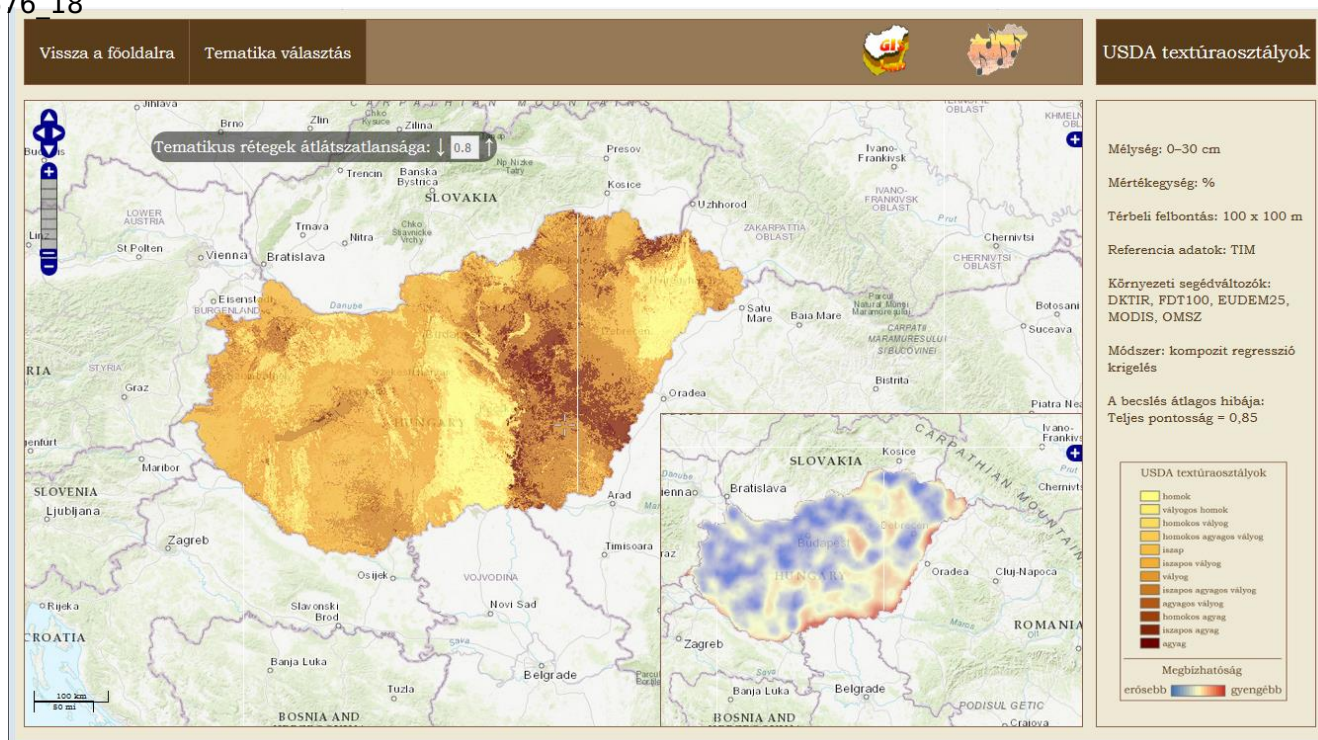
Térbeli felbontás 100 m			Szelvény	Altalaj-feltalaj bontás		Egyenközü rétegek			Speciális réteg kiosztás			GSM.net standard rétegek					
				Altalaj	Feltalaj	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-20 cm	20-50 cm	50-100 cm	0 - 5 cm	5-15 cm	15-30 cm	30-60 cm	60-100 cm	100-200 cm
elsődleges talajtulajdonság	Szemcseméret frakciók [%]	Agyag															
		Iszap															
		Homok															
	Textúra osztály (magyar)																
	Textúra osztály (USDA)																
	Szabadföldi vízkapacitás																
	Térfogatfómag																
	Szervesanyag-tartalom																
	Kémhatás																
	Mész-tartalom																
Genetikus típus																	
Termőréteg vastagság																	

4.18. ábra Az országos digitális talajtulajdonság és általánosabb értelemben vett talajtérképek struktúrája a térképi szolgáltatás eléréséhez (<http://dosoremi.hu>).



4.19. ábra Az országos digitális talajtulajdonság és általánosabb értelemben vett talajtérképek szolgáltatása az atlasz verzióban (<http://dosoremi.hu>).



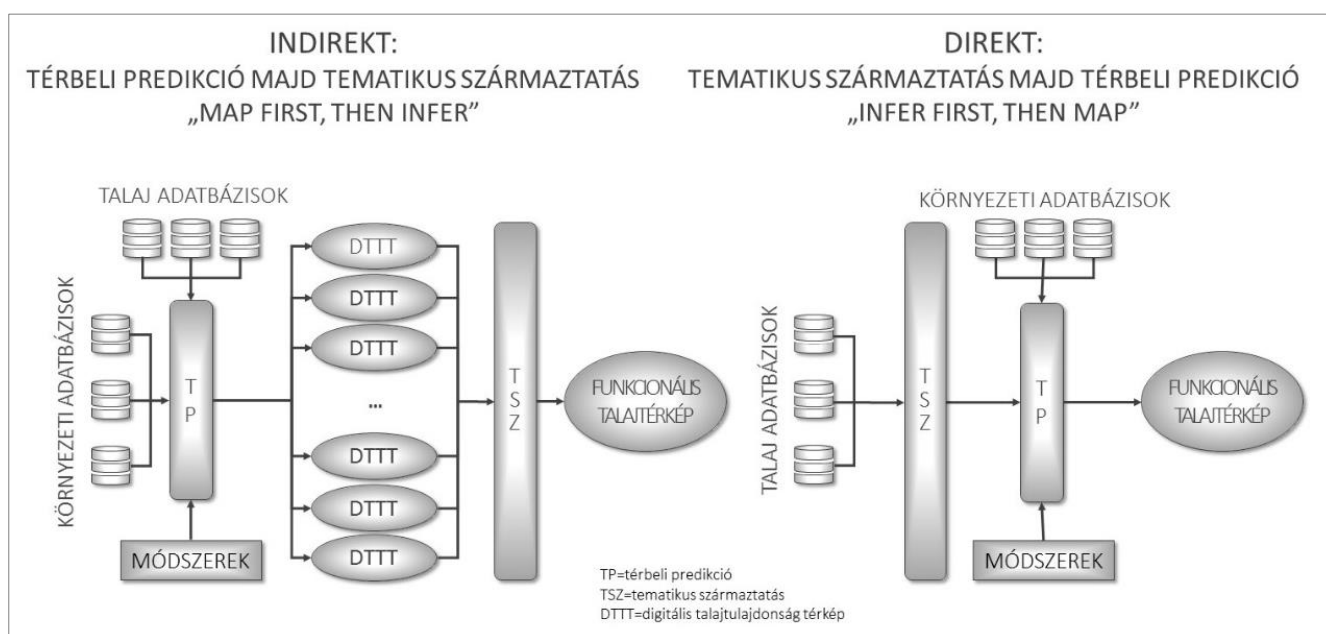


4.20. ábra Az országos digitális talajtulajdonság és általánosabb értelemben vett talajtérképek szolgáltatása az interaktív térkép verzióban (<http://dosoremi.hu>).

#### 4.5 Az elsődleges talajtulajdonság térképeken túl

Az elsődleges talajtulajdonságok térképezése alapvető és sokban hozzájárul a talajtakaró térbeli leírásához. A komplexebb (magasabb szintű, illetve folyamatokhoz köthető) jellemzőkre vonatkozó, közvetlen térbeli predikciókra is egyre nagyobb azonban az igény (Brevik et al. 2016b; Minasny & McBratney 2016; Keesstra et al. 2016; Vereecken et al. 2016; Arrouays et al. 2017a).

A talajfunkciók és -folyamatok kvantifikálása önmagában is jelentős kihívás, főképp, ha ezt térben kell elvégezni. Alapvetően két lehetőséget látok (nem kizárva továbbiak azonosítását) ezen általánosabb értelemben vett talajjellemzők térképezésére (4.21. ábra).



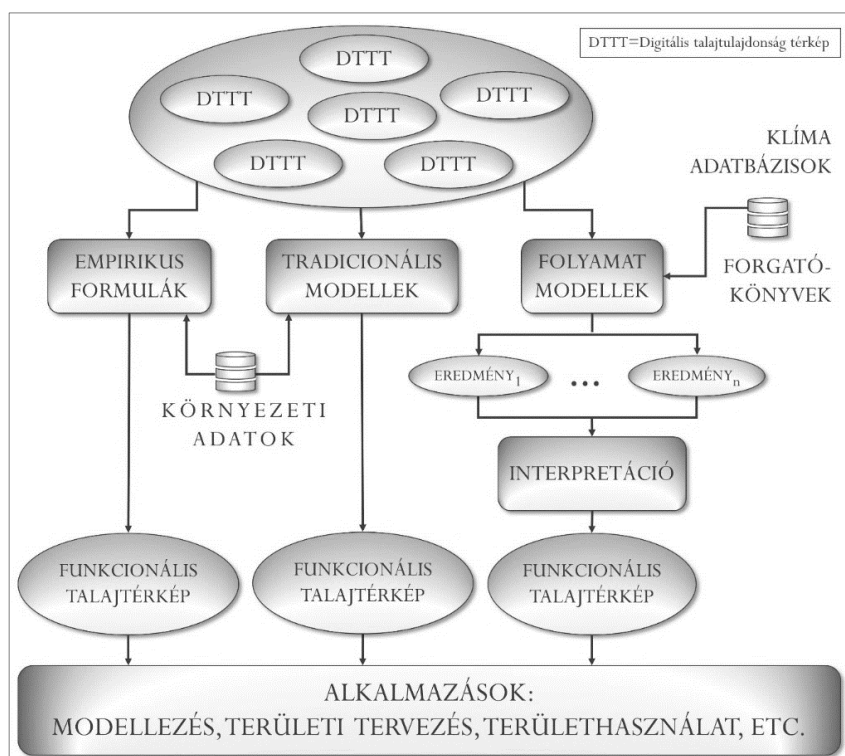
4.21. ábra Általánosabb értelemben vett talajjellemzők térképezésének meghatározó lehetőségei.

Az indirekt közelítés szerint már létező, elsődleges talajtulajdonság térképek képezik a kiindulást, és ezek szintjén történik a tematikus származtatás. A direkt megközelítés szerint a megfigyelések szintjén történik a térképezendő változó származtatása az elsődleges talajtulajdonságokból, és ezt követi a funkcióra, folyamatra vonatkozó jellemző közvetlen térbeli kiterjesztése. Mindkét módszernek vannak előnyei és hátrányai. A direkttel kapcsolatos



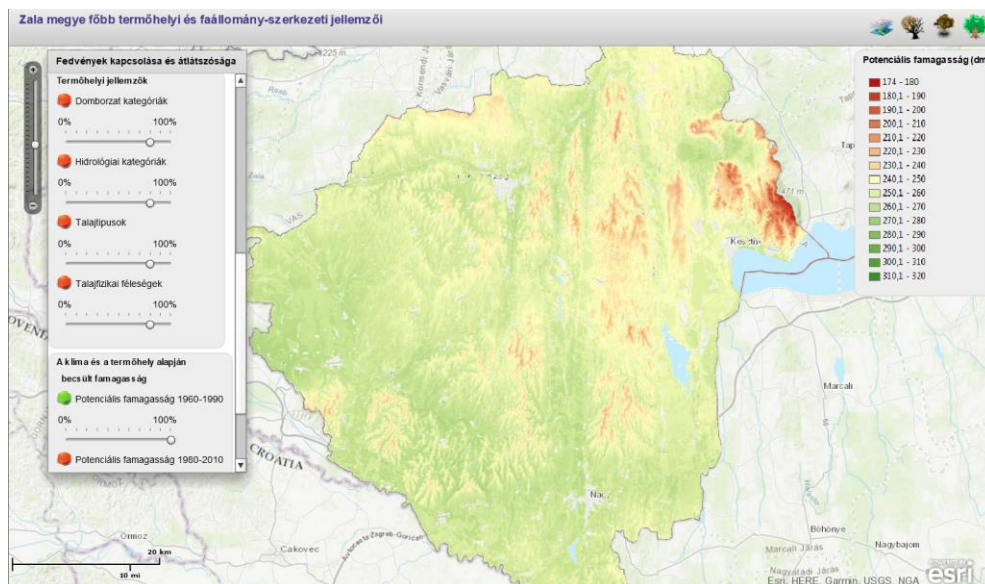
légnagyobb nehézség a kidolgozott térképezési módszerek szűkössége. Gondot jelent továbbá, hogy a tematikus származtatáshoz szükséges információk térbelileg nem feltétlenül konzisztensen állnak rendelkezésre (nem elérhetők egyazon adatrendszeren belül), így rontva a térképezéshez szükséges referencia adatok számosságát. Már a DOSoReMI.hu keretében is fontosnak tartottuk, hogy az elkészült, elsődleges térképeket tovább is hasznosítsuk általánosabb értelemben vett talajtérképek kidolgozásához, amelyek másodlagos tulajdonságokat, funkciókat és szolgáltatásokat regionalizálnak (Pásztor et al. 2017). Ezek jellemzően az indirekt közelítésen alapultak. A fejezet további részében három, ezen gondolatkörbe illeszkedő térképezési munkát mutatok be. A direkt módszerek kidolgozására egy támogatást nyert kutatás<sup>12</sup> keretében adódik lehetőségünk. Annak érdekében, hogy tesztelni tudjuk a direkt módszerrel származtatott predikciók feltételezett pontosabb voltát, egyrészt a regionalizáláshoz tartozó, inherens módon fogjuk kezelni a predikciók térbeli bizonytalanságának globális és lokális meghatározását. Másrészt pont ezek alapján összevetést tervezünk az indirekt (illetve az esetlegesen a későbbiekben azonosítandó további) módszerekkel származtatott, hasonló célváltozóra vonatkozó térképekkel. A térképezendő változókat az átalakítást, tárolást, szűrést, tompítást, táplálást, megőrzést etc., végző funkciók, illetve anyag- és energiaforgalmi folyamatok adatokkal viszonylagosan jól leírható, reprezentatív képviselői közül fogjuk több szempontot figyelembe véve kiválasztani.

Az indirekt közelítés során a tematikus származtatás több módját is alkalmaztuk (4.22 ábra).



4.22. ábra A tematikus származtatás néhány lehetséges módja az indirekt módszer alkalmazása esetén.

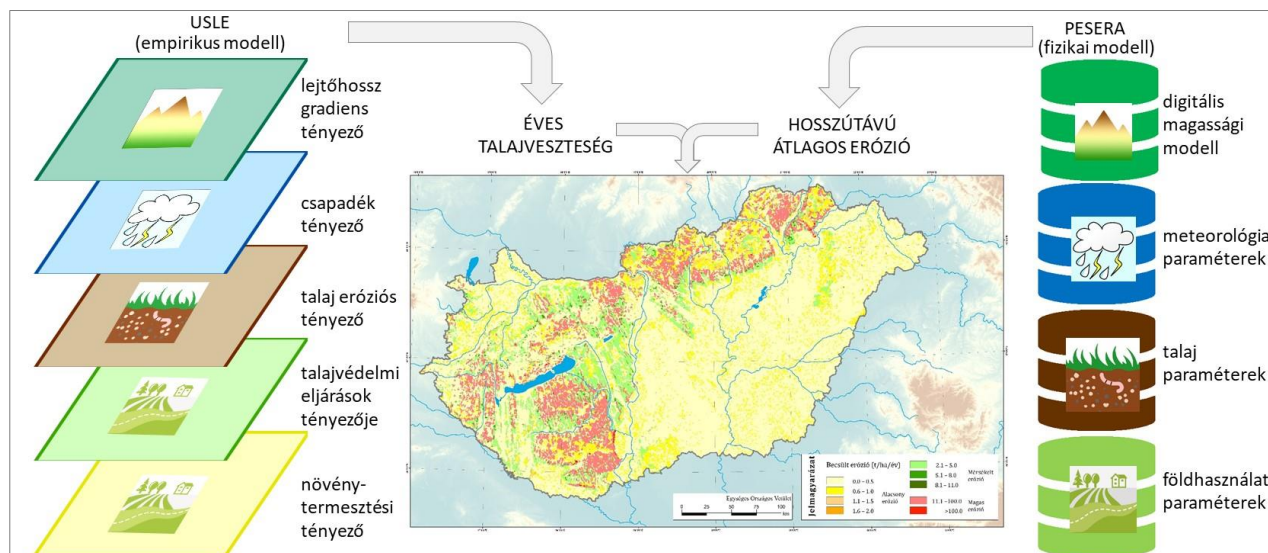
- Az elsődleges és másodlagos, származtatott talajtulajdonság térképek közt a legegységesebb átjárást jól kidolgozott empirikus összefüggések, pedotranszfer függvények biztosítanak. Ezen a módon szerkesztettük meg a (következő szakaszban tárgyalt) eróziós modellezésben használt K-, illetve talajkéreg tényezőre és erodálhatósági faktorra vonatkozó országos térképeket.
- Akár a mező-, akár az erdőgazdálkodási gyakorlat számos hagyományos modellt dolgozott ki specifikus földügyi, gazdálkodási, tervezési célból, amelyek alap talajparamétereken alapulnak (Babos et al. 1966; Járó 1963; Führer et al. 2011; Szodfridt 1993; Ángyán et al. 1998; Máté & Tóth 2004; Tóth et al. 2005). Ezeket a modelleket nem feltétlenül térképi környezetben fejlesztették, viszont a térbeliségük kivitelezhető. Amennyiben a bemenő adatok térbeli elérhetősége megoldható, az eredmény is térképi formátumú lesz. Jelen dolgozatban ezzel a kérdéskörrel részletesebben nem foglalkozom. Ábra formájában azonban szeretnék egy példát bemutatni. A fejezetben már korábban bemutatott zalai térképezés digitális talajtérképi eredményeit alkalmazta az AGRÁRKLIMA projekt, hogy hagyományos erdőgazdálkodási modelleket használva térképi predikciókat állítson elő különböző erdőzeti tematikákra vonatkozóan (Illés et al 2014), amelyek publikusan is elérhetők a [www.ertigis.hu](http://www.ertigis.hu) oldalon keresztül (4.23 ábra).



4.23. ábra. Digitális talajtérképeken és hagyományos modelleken alapuló funkcionális térkép (forrás [www.ertigis.hu](http://www.ertigis.hu)).

- A csatolt térbeli-tematikus származtatások jelenleg legigéretesebb megvalósulása, amikor komplex folyamat modellek veszik át az előző pontban tárgyalt hagyományos modellek helyét. Térbeli szempontból akkor tudnak kielégítő eredményekkel szolgálni, amennyiben minden bemeneti információ térbeliségét is harmonizált módon megoldható. Ez nagy kihívást jelent, amikor a bemenő térképi alapú adatok térbeli felbontása jelentősen eltér (pl. talajtani illetve klimatikus adatforrások esetén). A probléma kezelésére a következő három alfejezetben különböző megoldásokat mutatok be. További kihívásként jelentkezik az esetlegesen képződő többszörös kimeneti állományok kezelése, ami például különböző forgatókönyvek használata esetén fordul elő. Ilyenkor az eredmények megfelelő aggregálása, illetve interpretációja is a módszertan részét kell, hogy képezze. Mind a vízerózió veszélyeztetettség, mind pedig az agrárökoszisztémák termőképességére vonatkozó térbeli becslések bemutatása során ezzel a kérdéssel is foglalkozom érintőlegesen.

#### 4.5.1 Vízerózió-veszélyeztetettség



4.23. ábra Grafikus összefoglaló.

A vízerózió-veszélyeztetettség térképezésére különféle megközelítések terjedtek el. A talajveszteség számszerű modellezésére elsőként széles körben alkalmazott módszer az ún. USLE (Universal Soil Loss Equation) modellen (Wischmeier és Smith 1978) alapul, melyet a lepelerozió által okozott éves talajveszteség t/ha/év egységben kifejezett mértékének becslésére használnak még napjainkban is (Lahlaoi et al. 2015, Fantappiè et al. 2014, Doğan et al. 2015). Az USLE továbbfejlesztett verziói a MUSLE (Sadeghi et al. 2007, Odongo 2013), illetve a RUSLE (Jabbar 2003, Conforti et al. 2016; Teng et al 2018).

A Páneurópai Talajerózió-veszély Értékelési (Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: PESERA) modellt alapvetően regionális léptékű és összeurópai szinten elérhető bemenő adatokra alapozták (Kirkby et al. 2008). Az USLE-vel ellentétben folyamat-alapú modell, jelentősen nagyobb adatigénnyel 128 adatréteg formájában (Irvine and Kosmas 2003).

A magyarországi talajtérképezések során az erózió felmérése nem szerepelt az elsődleges célok között, ennek köszönhetően az első országos talajerózió térkép a '60-as években készült el (Stefanovits 1964). A digitális erőforrások fejlődésével vált lehetővé az eróziós modellek országos alkalmazása. Centeri és Pataki (2000) alkalmazták elsőként országos szinten az Univerzális Talajvesztési Egyenletet 1:100.000 méretarányban az akkor rendelkezésre álló adatforrásokra építve.

Tizenöt év elteltével, Magyarország Nemzeti Atlaszának legújabb kiadásának szerkesztési munkája inspirált arra, hogy a jelentősen kibővült lehetőségeket kihasználva és az egyes módszerek előnyeit egyesítve készüljön Magyarország területére egy új értékelés az erózió veszélyeztetettség becslésére, felhasználva többek között a legfrissebb digitális talajtérképeket, amelyek alapvető bemeneti adatai mindkét modellnek. A Szent István Egyetem munkatársaival együttműködésben térbelileg modelleztük a magyarországi talajok eróziós potenciálját közelítőleg 1:50.000 - 1:100.000-es méretaránynak megfelelő léptékben. Az erózió mértékének becslését az USLE és a PESERA modellek eredményének kombinálásával végeztük el. A modellek bemenő paramétereit a DOSoReMI.hu keretében előállított célspecifikus digitális talajtérképek, továbbá az EU-DEM domborzatmodell, a CARPATCLIM éghajlati adatbázis és a CORINE Land Cover 2006-os felszínborítási adatbázis adatai alapján származtattuk.

Mivel az extrém csapadék-események előfordulási valószínűsége szignifikánsan emelkedő trendet mutat Európában az utóbbi évtizedekben (Klein Tank and Können, 2003; Alexander et al., 2006; Zolina et al., 2009), a 2010-es évet választottuk bázisévként annak extrém csapadékmennyiségével, hiszen a legjelentősebb eróziós veszteségek is ezekhez az évekhez köthetők (van den Besselaar et al. 2012). Az igen csapadékos év adatainak figyelembevétele a potenciálisan „legrosszabb” esetet mutatja be.

A szükséges klímaadatokat elsődlegesen a CARPATCLIM adatbázisból (Szalai et al. 2013) származtattuk, amelyet az AGRI4CAST MARS (<https://ec.europa.eu/jrc/en/mars>) adataival egészítettünk ki az ország nyugati területeire vonatkozóan. A domborzati jellemzők származtatásához az EU-DEM (Bashfeld and Keim 2011) felszínmodellt használtuk. Az USLE modellben a domborzat szerepét jellemző LS tényezőt a Moore módszerrel (Moore et al. 1991) SAGA GIS környezetben (Conrad et al. 2015) származtattuk. A földhasználattal kapcsolatos rétegekhez a 100 méteres, raszterizált CORINE felszínborítás adatbázist (CLC2006) használtuk a PESERA kézikönyv (Irvine & Kosmas 2003) alapján.

Eróziós térképezésünk egyik legfontosabb újítása a talajtani adatigények célspecifikus kielégítése nagyfelbontású térbeli talajinformációkkal. Az USLE és a PESERA modellek meghajtásához egyrészt elsődleges talajtulajdonság térképeket (homok-, iszap-, agyag-, szervesanyag- és mésztartalom) felhasználó, empirikus összefüggéseken alapuló, másodlagos, származtatott talajtulajdonság térképi rétegeket használtunk. Az USLE modellhez szükséges K-tényező térképhez a Sharply és Williams (1990) becslő formulát használtuk:

$$K = (0,2 + 0,3e^{[-0,256SAN(1-SIL/100)])} \times \left(\frac{SIL}{CLA+SIL}\right)^{0,3} \times \left(1 - \frac{0,25OM}{OM+e^{(3,72-2,95OM)}}\right) \times \left[1 - \frac{0,7SN_1}{SN_1+e^{(22,9SN_1-5,51)}}\right] \quad (4.1)$$

ahol SAN, SIL, CLA és OM a talaj homok-, iszap-, agyag-, illetve szervesanyag-tartalma; és  $SN_1 = 1-SAN/100$ .

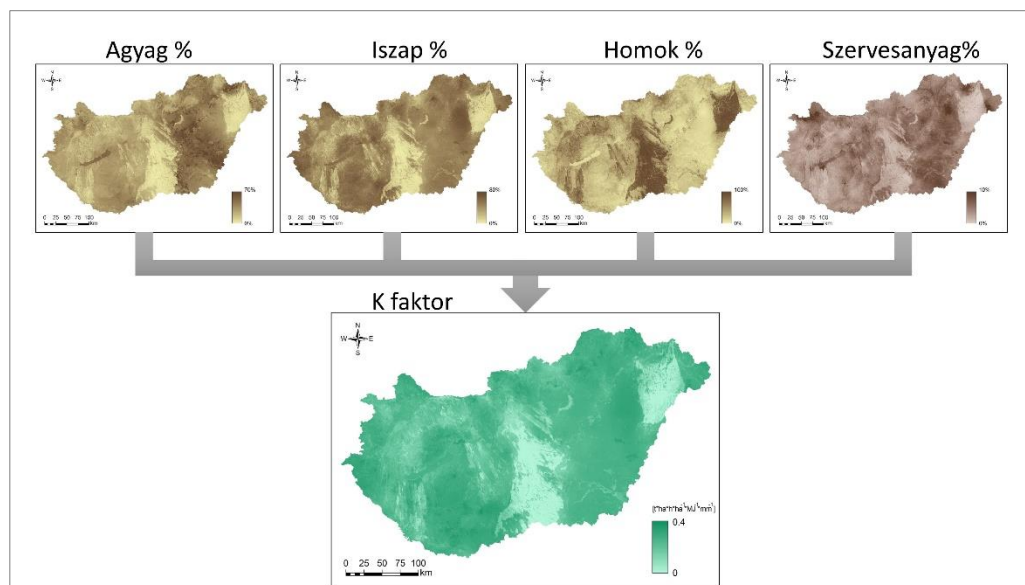
A PESERA modell a K-tényezőnél komplexebb formában építi be a talajok jellemzőit. Használja egyrészt az erodálhatósági faktort, amely a következő becslő formula (Fryrear et al. 2000) segítségével származtatható:

$$EF = \frac{29,09+0,31SAN+0,17SIL+0,33S_c-2,59OM-0,95CaCO_3}{100} \quad (4.2)$$

ahol SAN, SIL, OM,  $CaCO_3$  a talaj homok-, iszap-, agyag-, szervesanyag, illetve mésztartalma  $S_c$  pedig a homok és agyag tartalom aránya. Az esőcseppek mechanikai hatása a talajfelszín kárgesedéséhez vezet, ami meghatározza a talaj víztartó képességét. A talajkéreg tényezőt döntően a talajok agyag- és szervesanyag-tartalma befolyásolja. Fryrear et al. (2000) alapján a következőképpen becsültük:

$$SCF = \frac{1}{[1+0,0066(CLA)^2+0,21(OM)^2]} \quad (4.3)$$

ahol CLA és OM a talaj agyag-, illetve szervesanyag-tartalma.



4.24. ábra Másodlagos talajtulajdonságok térképezése elsődleges talajtulajdonság térképek alapján empirikus formulák segítségével, K faktor.

Az országos, 0-30 cm-es talajrétegre előállított homok-, iszap-, agyag-, szervesanyag- és mésztartalom térképekre alkalmazva a fenti képleteket származtattuk a három tényező térképet, azaz nem közvetlenül a faktorokat térképeztük (indirekt módszer). Ezen közelítés hátterében a rendelkezésre álló talajtani adatok maximális kiaknázásának szándéka áll. Az egyes alaptulajdonság térképek különböző referencia adatokból születtek. Az elkészítésükhöz felhasznált adatrendszerek nem egyformán, vagy még csak konzisztensen sem tartalmazták a formulákban szereplő összes paramétert, így nem lehetett a származtatott tényezők térképezéséhez szükséges referencia adatállományokat előállítani.

A modellezéshez szükséges talajadatok másik csoportját a PESERA azon speciális igénye jelentette, amely annak köszönhető, hogy a PESERA alapvetően az Eurázsiai Talaj Földrajzi Adatbázis (Soil Geographical Database of Eurasia at scale 1:1,000,000) adat- és pedotranszferszabály rendszerére alapozva fejlesztették. Ennek köszönhetően szerepelnek benne olyan paraméterek, amelyekre vonatkozóan nemhogy térképi formában, de még adatbázis szinten sem álltak rendelkezésre alapadatok országos térképezéshez megfelelő számban vagy minőségben. Ezen talajtani rétegeket az eredeti, európai térképek térbeli dezaggregálásával állítottuk elő. Ehhez a 2.5.2 fejezetben bemutatott módszerhez hasonlóan kondicionált, virtuális mintavétellel (10 pont/100 km<sup>2</sup>; pontok közti minimum 100 méteres távolság) generáltunk referencia adatsorokat, melyeket domborzati, földhasználati, földtani és talajtani környezeti segédváltozók felhasználásával, regresszió krigeléssel terjesztettünk ki térben.

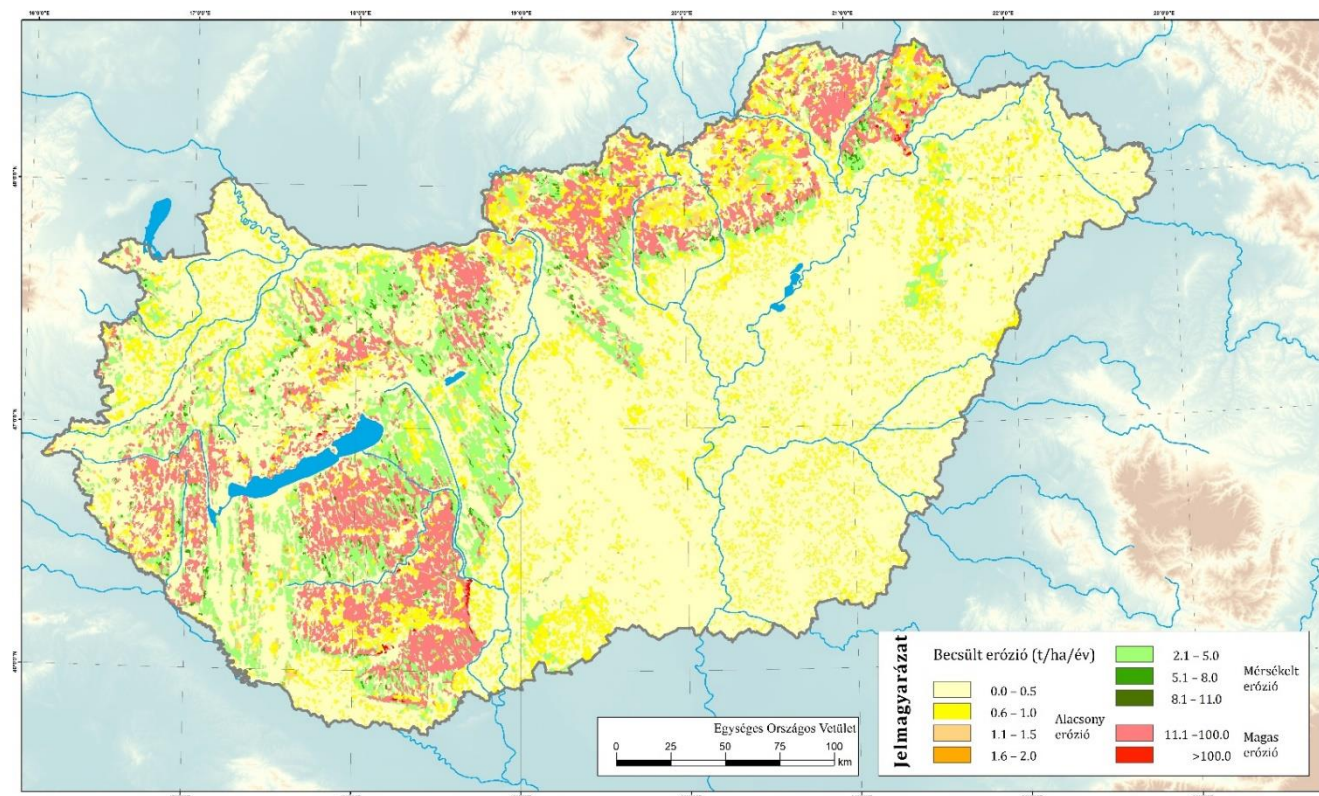
Mindkét modellt az extrém csapadékos 2010-es évre futtattuk. Ennek köszönhetően a modell eredmények klimatikus szempontból pesszimista forgatókönyvnek számítanak. Hasonló a helyzet földhasználati szempontból, ugyanis a szántóföldi kultúrákra nem áll rendelkezésre megfelelő térbeli információ, ezért a szántó területeken kukoricára vonatkozó C faktorról számoltunk. A kétféle modellből származó eredmény kombinációját egy egyszerű ensemble modellezéssel végeztük el, jelesül a két térkép átlagolásával, mivel mindkettő t/ha/év mértékegységben szolgáltatva a predikciót, a térképek lokális megbízhatóságára pedig nem áll rendelkezésre olyan becslés, amit fel lehetett volna használni a két modell megfelelő területi súlyozására. Az összesített térkép alapján az ország területének mintegy 74%-a gyengén, 18%-a közepesen és csak 8%-a erősen veszélyeztetett vízerózió által. Ami ezen kategóriák földrajzi eloszlást illeti, erősen a hegy- és dombvidéki területek veszélyeztetettek, főképpen az Északi-Középhegység és a Dél-Dunántúl. Utóbbi területén jelennek meg a legmagasabb értékek. Ez annak tudható be, hogy míg a hegyvidéki területek zömmel erdősültek, a dombos területeken gyakran a meredekebb lejtők is művelés alatt vannak. Az alföldeket jellemzően alacsony eróziós ráták jellemzik, egyes homokterületek jelentenek ez alól kivételt.

Az erózió mértékének az egyesített térkép által mutatott mind nagyságrendi, mind pedig térbeli eloszlása összhangban van a korábbi eredményekkel. Az új térkép térbeli felbontása és ebből következő részletessége azonban felülmúlja a korábbi országos térképműveket. Az elérhető legjobb bemenő adatok felhasználása pedig a megbízhatóságát növeli jelentősen. A térkép terepi méréseken alapuló validálására nem került sor országos eróziós monitoring hálózat hiányában. Később felvetődött a gondolat, hogy az OKIR TDR gazdálkodói adatai felhasználhatók lehetnek egy szemi-kvantitatív értékeléshez, amire sor is került (Waltner et al. 2018). Ennek legfőbb üzenete, hogy a térképi predikciók eredményét az üzemszintű adatok nagyobb mértékben támasztották



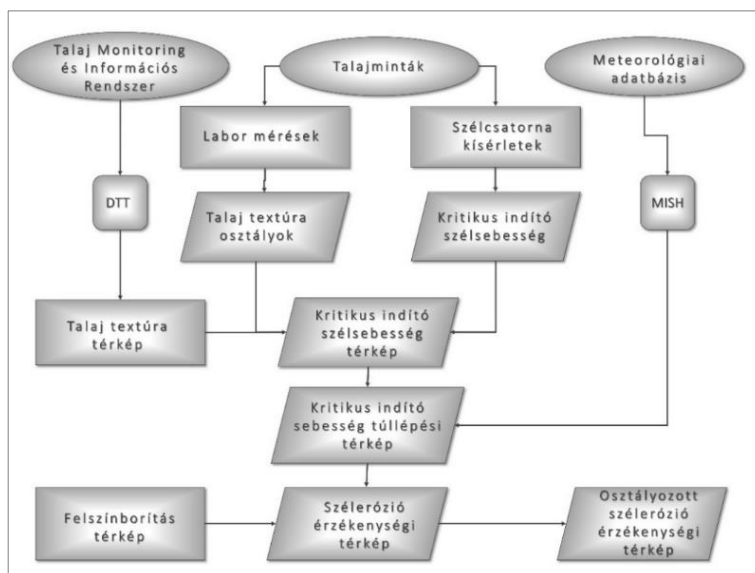
dc 1576 18

alá, mint az ún. reprezentatív parcella részletekről<sup>13</sup> származó felvételi adatok, ami arra utal, hogy az utóbbiak gyűjtése során alkalmazott mintavételi protokoll nem alkalmas az erózió adott léptékben történő nyomkövetésére.



4.25. ábra Becsült, országos eróziós talajvesztesség-térkép.

#### 4.5.2 Szélerózió-veszélyeztetettség



4.26. ábra Grafikus összefoglaló.

A szél által okozott erózió (szélerózió, defláció) világszerte komoly problémát jelent. Az Egyesült Nemzetek Környezeti Programjának (UNEP) 1991-es jelentése alapján az arid területek teljes degradációjának több mint 46%-áért a szélerózió tehető felelőssé (Zheng 2009). Lal (1994) szerint világszinten az 550 millió hektárt is elérheti a veszélyeztetett területek kiterjedése. Oldeman és munkatársai (1991) szerint a deflációval érintett európai mezőgazdasági területek becsült területe 42 millió hektár. Európában a szélerózió főként a félszáraz területeket érinti (López et al. 1998; Gomes et al. 2003), de az északibb fekvésű országok mérsékelt területei is

<sup>13</sup> Az Országos Környezeti Információs Rendszer (OKIR) talajdegradációs alrendszerének (TDR) alapvető geometriai objektuma, melyen a terepi vizsgálatok és mintavétel történt. Az ezekre gyűjtött átlagmintákkal reprezentáljuk az őket tartalmazó táblák talajtani viszonyait.

veszélyeztetettek (Eppink & Spaan 1989; Goossens 2001; Barring et al. 2003). A '90-es években végzett európai kutatások szerint a defláció a korábban feltételezettnél komolyabb problémákat okoz (Gomes et al. 2003; Böhner et al. 2003; Warren 2003). Az utóbbi években viszonylag nagy részletességű európai léptékű térképek születtek a szélerózió regionalizálása céljából. Borelli és munkatársai (2014, 2015, 2016) az erodálhatósági faktort tekintették az eróziós érzékenység indikátoraként és digitális talajtérképezési eszközökkel modellezték a számításához felhasznált empirikus formulában használt eldőlleges talajtulajdonság térképeket a LUCAS adatbázis adatainak felhasználásával. Ezt követően ugyanők lépéseket tettek a folyamat dinamikus modellezésére is (Borelli et al. 2016, 2017). A széleróziót ugyanis statikus és dinamikus tényezők egyaránt befolyásolják, többek közt a felszíni érdesség, amibe a felszín topográfiai jellemzői és a növényzeti fedettség egyaránt szerepet játszik; valamint számos talajtulajdonság: szemcseméret, szerkezetesség, aggregátum stabilitás, nedvesség-, mész, és szervesanyag-tartalom (Shao 2008). A szélerózió okozta degradáció nagyban függ a feltalaj textúrájától, ezért a defláció térképezés elengedhetetlen eleme a legfelső talajréteg fizikai féleségének részletes térbeli ismerete (Borelli et al. 2014, Mezösi et al. 2015).

A szélerózió alapvetően egy természetes, geológiai folyamat, ami számos eloikus forma kialakulását eredményezi (Lancaster 1995), de ennek mértékét nagyban felerősítették különböző antropogén hatások (túllegeltetés, nem megfelelő gazdálkodási formák, intenzív termelés etc.). Szántó területeken a defláció következményeképpen a biológiai leginkább aktív talajrétegek mozdulnak el, amelyek szerves- és tápanyagokban a leggazdagabbak (Funk & Reuter, 2006). Ennek alapvető következménye a veszélyeztetett területek termőképességének csökkenése. Másrészt a tápanyagok és a vetést megelőzően kijuttatott növényvédőszer szélérózió útján történő transzportja komoly környezeti problémaként jelentkezik (Funk et al., 2004).

A növényi fedettség fontos szerepet játszik a szélerózió megelőzésében (Armbrust and Bilbro 1997). A vegetáció felszíni jelenléte növeli a felszínközeli turbulenciát így csökkentve a szélesebséget (Shao, 2008). A talajfelszín növényi fedettség esetén a szélerózió mértéke akár 98%-kal is csökkenhet (Fryear et al. 2000). A vegetáció árnyékhatása a talaj nedvességtartalmát növelheti. A szántóföldek fedetlen talajfelszíne a legkitettebb a szélerózió hatásainak. Mivel a vegetációs fedettség nemcsak térben, hanem időben is jelentősen változik, egy területet értelmesebb potenciális kitettségével jellemezni, ami a szélerózió érzékenységet képviseli.

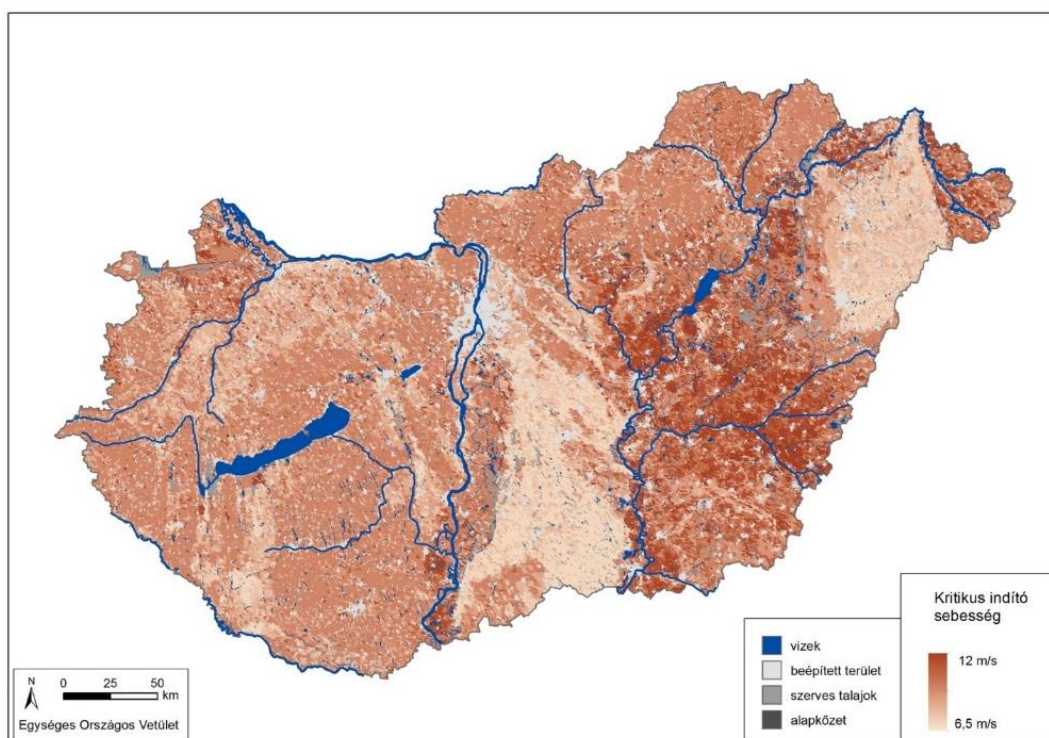
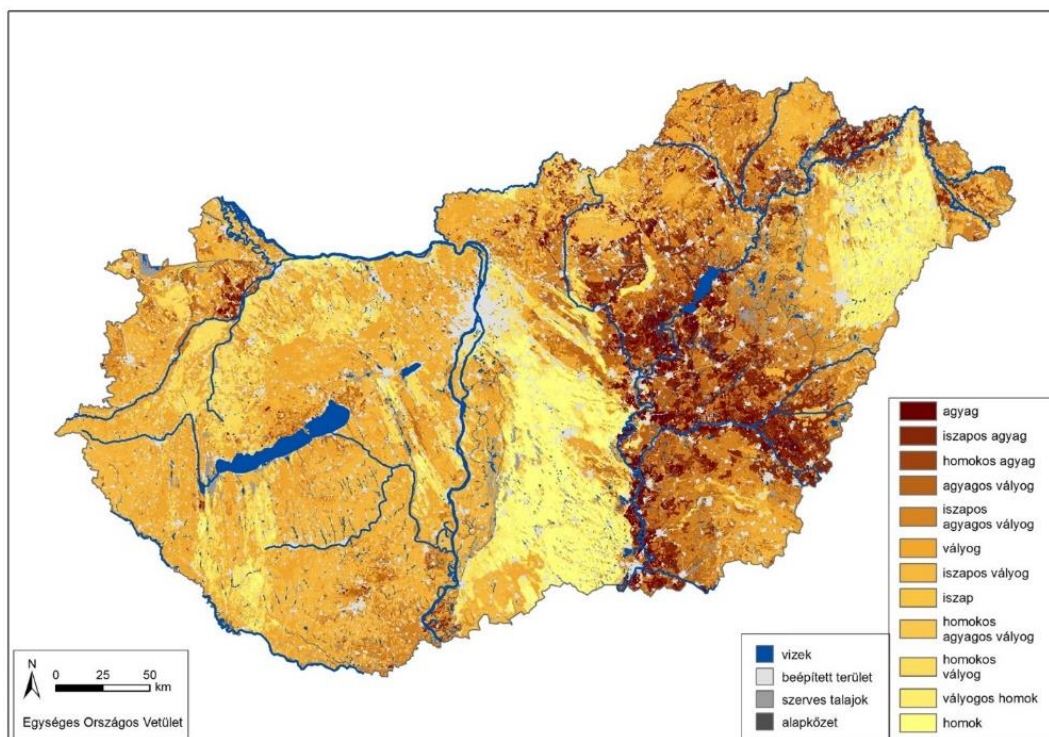
Magyarországon is komoly problémát jelent a szélerózió mind a mezőgazdasági termelésben, mind a környezeti minőségben (Farsang 2016). Az országban nagy területeket borítanak homok és vályog talajok, amelyek leginkább kitettek a szélerózióknak. Az alföldi területek több mint 60%-a szántóföldi művelés alatt áll, ami szintén növeli a veszélyeztetettséget. Az országos, éves átlagos szélesebség 2-4 m/s. A havi átlag folyamatosan növekszik az év első hónapjaiban, a legnagyobb havi átlagok márciusban és áprilisban fordulnak elő, amikor még a szántók is zömével fedetlenek. Áprilisban a legtöbb azon napok száma is, amikor a maximális szélesebség 10 m/s fölötti. A két legszelesebb hónapban a havi átlagos szélesebség 3-3,2 m/s. Az 5 m/s-os sebességet meghaladó szelek fő iránya a Dunántúlon észak-nyugati, az Alföldön észak-keleti. A szélesebségek területi eloszlása igen változatos, a legerősebb szelek a Dunántúlon fújnak. A szeles napok száma (amikor a szél sebessége 10 m/s feletti) 122 körüli, a viharos napok száma (amikor a szél sebessége 15 m/s feletti) 32 körüli (MET 2016).

Magyarország potenciális szélerózió térképe (Lóki 2012) szerint az ország területének 26,5%-a erősen vagy mérsékelten veszélyeztetett, ahol az erozív szelek kritikus indító sebessége kisebb mint 8,5 m/s. A térkép egy egyszerűsített talajtextúra és kritikus indító sebesség osztályozáson alapult és egyéb tényezőket (szélesebség, földhasználat) nem vett figyelembe. Ezért a térkép nem szolgáltat teljes képet a veszélyről, amely hiányosságra Mezösi és munkatársai (2015) mutatottak rá, akik klimatikus, növényzeti és talaj erodálhatósági tényezőket integráltak fuzzy logikai alapon országos térképük elkészítéséhez, melyet terepi megfigyelésekkel verifikáltak. Munkájukban a deflációs faktorokat reprezentáló adatok térbeli felbontása jelentősen kisebb volt, mint amire az itt bemutatott térképezési munkánkban támaszkodhattunk, melynek során a Debreceni Egyetem és az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársaival együttműködésben speciális módszertan kidolgozásával előállítottuk a magyarországi talajok defláció érzékenységi térképét egyhektáros térbeli felbontásban. Szélcsatornás kísérletek eredményeinek generalizálásával és Magyarország 0-5 centiméteres talajrétegre vonatkoztatott talajtextúra térképének felhasználásával először kritikus indítási sebesség térképet szerkesztettünk, amelynek egy szabályos rácshálóban értelmezett meghaladási értékeit az OMSZ szélesebség adatai alapján becsültük. A meghaladási értékeket geostatistikai módszerrel interpoláltuk és földhasználati adatokkal korrigáltuk az egy hektár felbontású eredmény térkép megszerkesztéséhez.

A szélcsatornában tesztelt talajminták 215 helyszínről származnak, a 0-20 centiméteres szántott rétegből. A mintavételi helyek elsődleges kiválasztási kritériuma a talaj textúra volt. Minden textúra osztályt több helyszínről származó minták reprezentálnak az osztályokon belüli heterogenitás figyelembevételére. A szélcsatornás mérések a Debreceni Egyetem laboratóriumában folytak. A műszer által elérhető maximális szélesebség 16 m/s volt. A kritikus indítósebességek kiértékelése talaj textúra osztályonként történt (4.17 táblázat). Az osztály átlagértékeket használtuk az országos talajtextúra térkép felparaméterezéséhez (4.27 ábra).

Textúra osztály (az adott típusba eső minták száma)	Kritikus indító sebesség (a lefedett intervallum feltüntetésével)
vályog (15)	9.7 m/s (9.5-9.8 m/s)
iszapos vályog (20)	10.0 m/s (9.7-10.3 m/s)
agyagos vályog (7)	11.0 m/s (10.8-11.3 m/s)
iszapos agyagos vályog (7)	10.2 m/s (10.1-10.3 m/s)
iszapos agyag (5)	11.5 m/s (11.2-11.7 m/s)
agyag (5)	12.0 m/s (11.7-12.3 m/s)
homokos agyagos vályog (10)	9.8 m/s (9.6-10.0 m/s)
homokos vályog (45)	8.7 m/s (8.5-8.9 m/s)
vályogos homok (34)	7.3 m/s (7.1-7.5 m/s)
homok (35)	6.5 m/s (6.2-6.8 m/s)
homokos agyag (11)	10.0 m/s (9.8-10.2 m/s)
iszap (11)	10.5 m/s (10.3-10.8 m/s)

4.17. táblázat A szélcsatornában tesztelt talajminták és a mért kritikus indító sebesség értékek talaj textúra osztálykénti megoszlása.



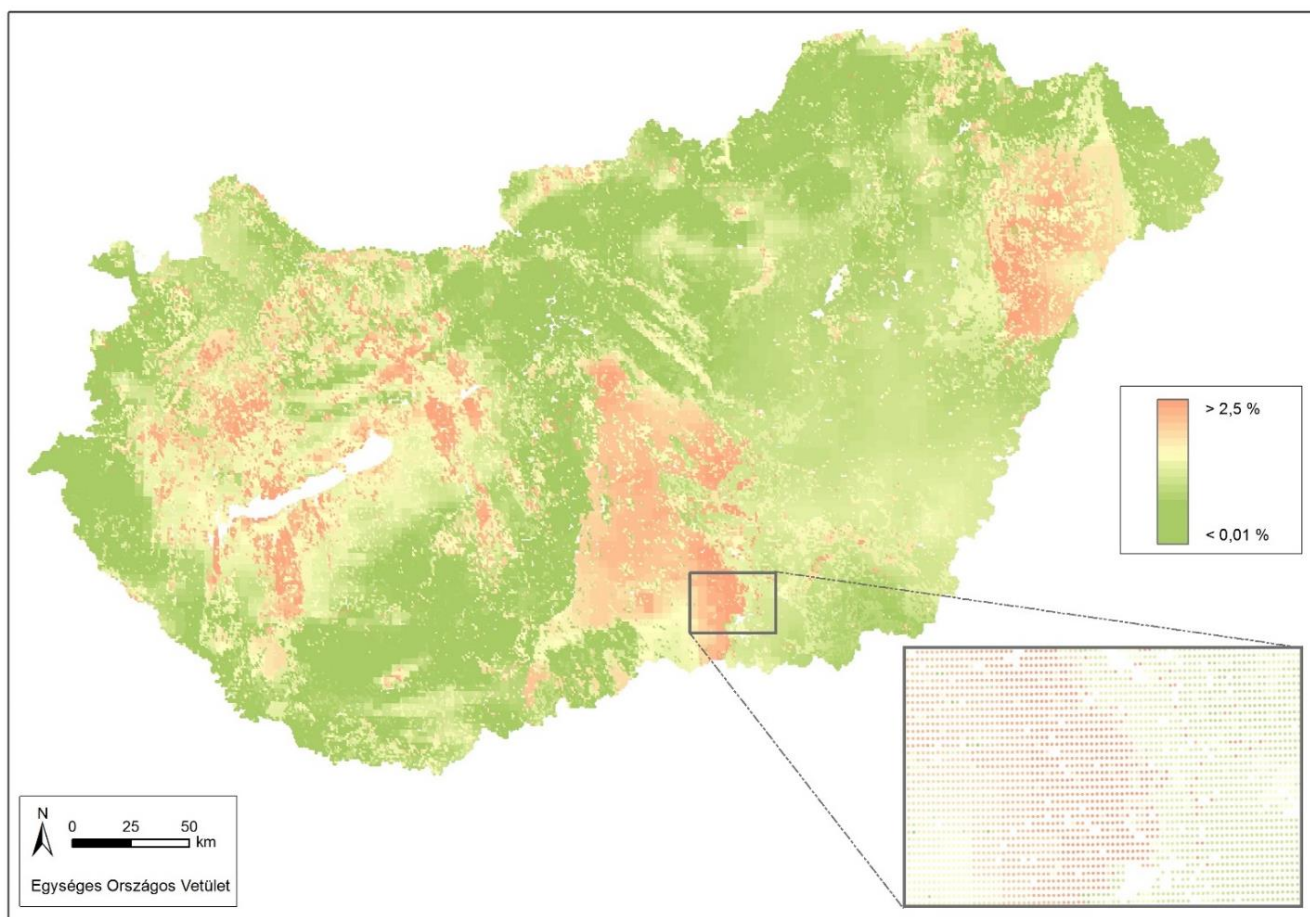
4.27. ábra A 0-5 centiméteres rétegre vonatkozó, országos talaj textúra térkép és az abból levezetett kritikus indítósebesség térkép.



A modellezéshez szükséges, országos szélesség adatokkal az OMSZ rendelkezik. Olyan megoldást kerestünk, amelynek során egyetlen, jól megválasztott felszíni klimatikus paraméterrel tudjuk a szél szerepét jellemezni egy terület szélerózió veszélyeztetettségében. A kiválasztott, szélességre vonatkozó paraméter a talajtani adatok alapján becsült kritikus indító sebesség meghaladásának gyakorisága egy fél fokperces (0,5') rácsra vonatkoztatva. A meteorológiai gyakorlatban sűrűnek számító gridre a 2000 – 2013 közötti időszakból származó, egyórás átlagú, automata szélesség mérésekből a MISH módszer segítségével származtatták a gyakorisági értékeket. A kapacitásokat feszegető számítások eredménye a fél fokperces cellaközéppontokra becsült valószínűségi értékek, milyen gyakorisággal haladja meg a szélesség a kritikus indítósebességet, a megfigyelt 13 éves, órás léptékű adatsorok alapján.

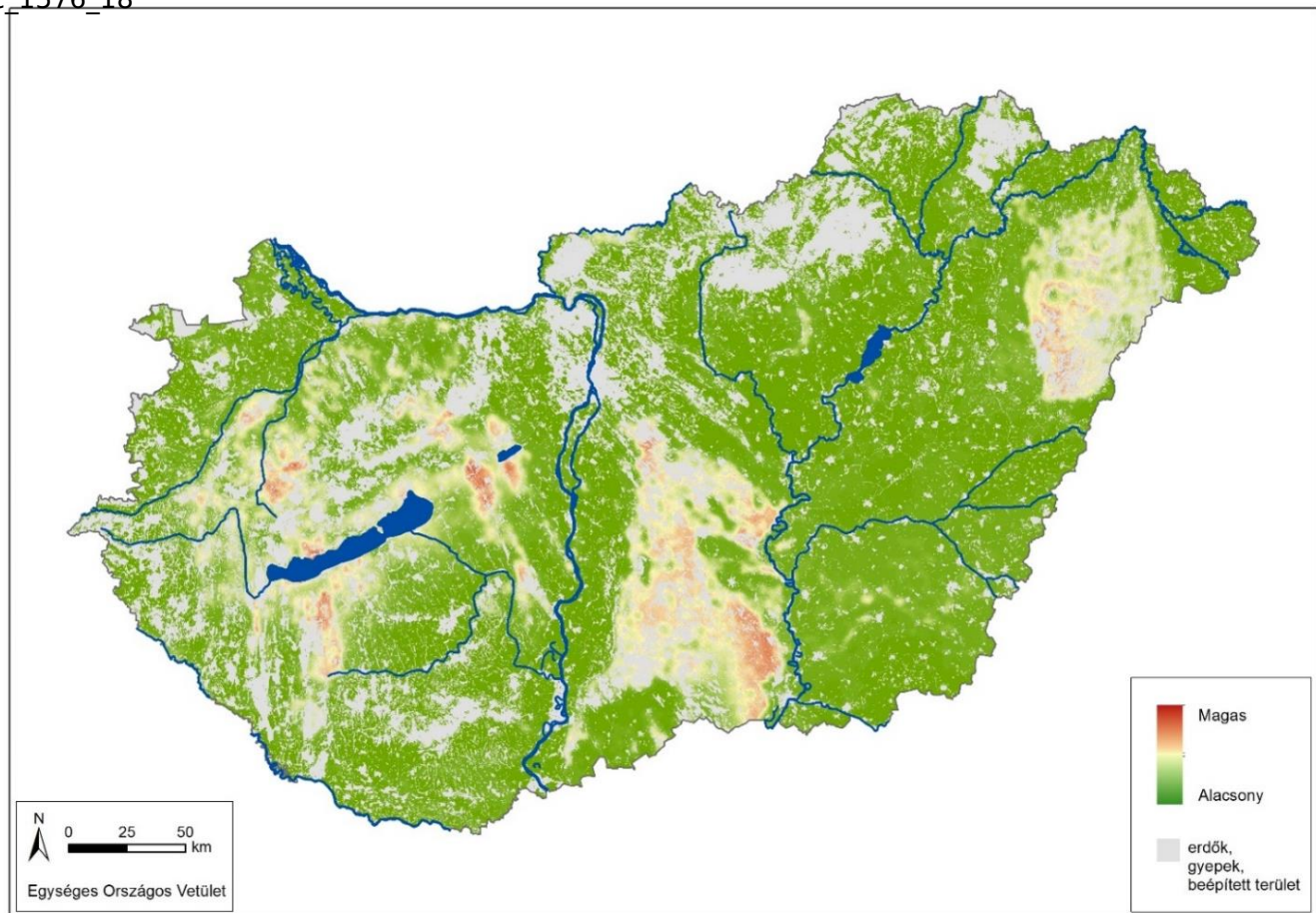
Az értékek térbeli variabilitása országosan elég nagyak mondható (4.28 ábra), bár az becsült valószínűségi értékek tartománya nem túl széles, 0% és 2,5% közötti. Az ország legnagyobb részén az értékek kisebbek 0,5%-nál; és egy jelentős hányadán nem haladják meg a 0,01%-ot. A nyugati határ mentén, az Északi-Középhegységben, a Dél-Dunántúlon és az Alföld egyes részein lényegében sohasem éri el a szélesség az ott érvényes kritikus értéket. Az Alföld nagyobb részén 0,5% alatt marad a túllépési valószínűség. A 2% feletti értékek igen ritkák és csak néhány helyen érik el a maximális 2,5%-ot. A veszélyeztetett területek közé tartozik a Duna-Tisza-köze, a Nyírség, a Balaton környéke, főképpen a Dunántúli-középhegység és annak észak-nyugati előtere.

A kritikus indító sebesség meghaladásának valószínűsége a szélerózió veszélyeztetettség megfelelő indikátora, de a cellaközéppontokra született becslést továbbfejlesztettük, hogy egy térbelileg teljes fedettséget nyújtó, szigorúbb értelemben vett térképi termék legyen a modellezés végeredménye. Ezt egy további interpolációval, jelesül kokrigeléssel végeztük el, melynek segédváltozói a textúra térképhez használt, egyhektáros felbontású, 0-5 cm-re vonatkozó homok- és iszaptartalom térképek voltak. A végső eredmény térképhez (4.29 ábra) a kokrigelt térképből a felszínborítási adatok alapján kimaszkoltuk a defláció szempontjából nem érintett területeket.



4.28. ábra A kritikus indító sebesség meghaladásának valószínűsége (2000-2013) a fél fokperces rácsközpontokra becsülve





4.29 ábra A magyarországi talajok defláció érzékenységi térképe

Térképünk alapján az ország területének durván 10%-a érintett erősen defláció szempontból. Ez az érték, illetve a leginkább veszélyeztetett területek regionális előfordulása összhangban van a korábbi eredményekkel (Borelli et al. 2014, Funk és Reuter 2006; Stefanovits és Várallyay 1992; Mezősi et al. 2015). Térképünk mindemellett jelentősen belenagyít azok főbb mintázataiba, illetve a szélerózió térbeli viselkedésébe a felhasznált, jelentősen jobb felbontású input adatoknak köszönhetően.

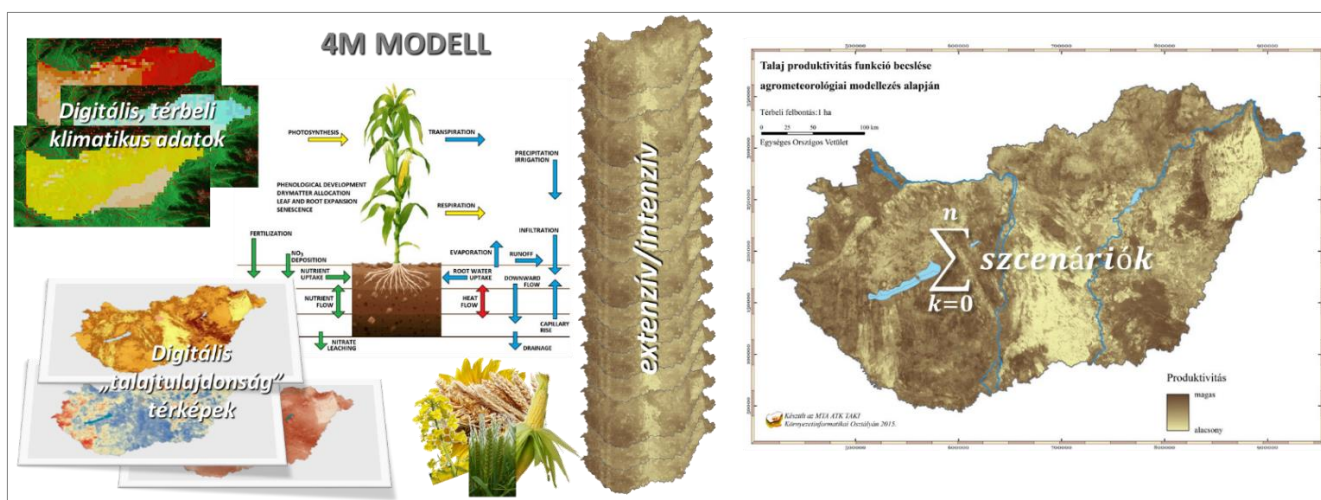
Az alkalmazott klimatikus paramétert alapvetően megfelelő indikátornak tartjuk, mivel figyelembe veszi a kritikus indító sebesség feletti szelek tartamát. Mindamellett továbblépésként érdemesnek tartjuk további szél jellemzők (viharnapok száma, egy kritikus sebesség érték feletti napok száma etc.) implementálását is megfontolni.

Kihangsúlyozandó, hogy eredmény térképünk aktuális és lényegében statikus állapotot tükröz. A széleróziót okozó és befolyásoló tényezők (mint felszínborítás, földhasználat, talaj nedvességtartalom, gazdálkodási mód) mind térben, mind időben változnak. A talaj nedvességtartalma mellett az alkalmazott művelési technológia játszik különösen jelentős szerepet, mivel a nem megfelelő talajművelés jelentősen rombolhatja a talajszerkezetet, így azonos textúrájú talajok is elég eltérően viselkedhetnek. Sajnos országos léptékben ezen faktorra vonatkozó aktuális és térbeli adatok hozzáférhetőségére a közeljövőben biztos nem lehet számítani.

Látunk azonban további lehetőséget is a bemutatott módszer tökéletesítésére. Jelentős lépést jelentene a talajok szélerózióval szembeni ellenállásának funkcionális becslése a textúra osztály helyett az erodálhatósági faktorról (EF), ami viszonylag jól számítható elsődleges talajtulajdonságokból (4.2 formula), esetleg a kritikus indító sebesség közvetlen származtatása ugyanezen paraméterekből (Négyesi et al. 2016). A DOSoReMI.hu keretében előállított elsődleges talajtulajdonság térképeket így közvetlenül lehetne hasznosítani egy újabb körös, országos szélerózióérzékenység térképezés során, elkerülve az osztályátlagok használatát. Ily módon várhatólag az eredménytérkép pontossága mind tematikus, mind térbeli szempontból jelentősen növekedne.

Mindazonáltal az előállított térképünk jelen formájában is megbízható alapot nyújt a szélerózió regionális jellemzésére, következésképpen az ellene történő védekezés tervezésére, továbbá ennek költségeire vonatkozó támogatások ésszerű elosztására.

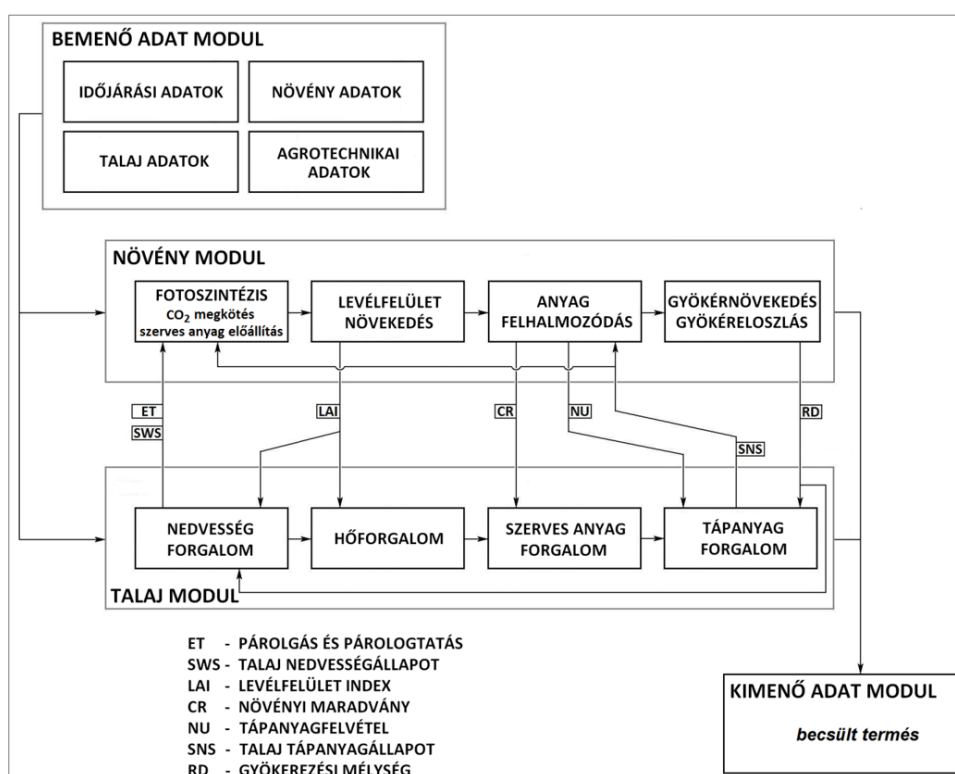
### 4.5.3 Egyes talajfunkciók térbeli becslése digitális talajtérképek és a 4M növény szimulációs modell integrálásával



4.30. ábra Grafikus összefoglaló.

A lehatárolási problémákkal foglalkozó előző fejezetben foglalkoztam a talaj termőképesség térbeli becslésének különböző lehetőségeivel. Az ott bemutatott eredménytérképek eredendően az indirekt közelítés szerint szerkesztett funkcionális talajtérképeknek tekinthetők, mivel már létező, elsődleges talajtulajdonság térképeken alapulnak, és ezek szintjén történik a tematikus származtatás. Jelen alfejezetben az említésre került módszerek közül a digitális talajtérképezés és az agrometeorológia modellezés ötvöztetésének koncepcióját fejtem ki részletesebben, illetve mutatom be megvalósításának különböző szintjeit. Ennek három legfőbb oka:

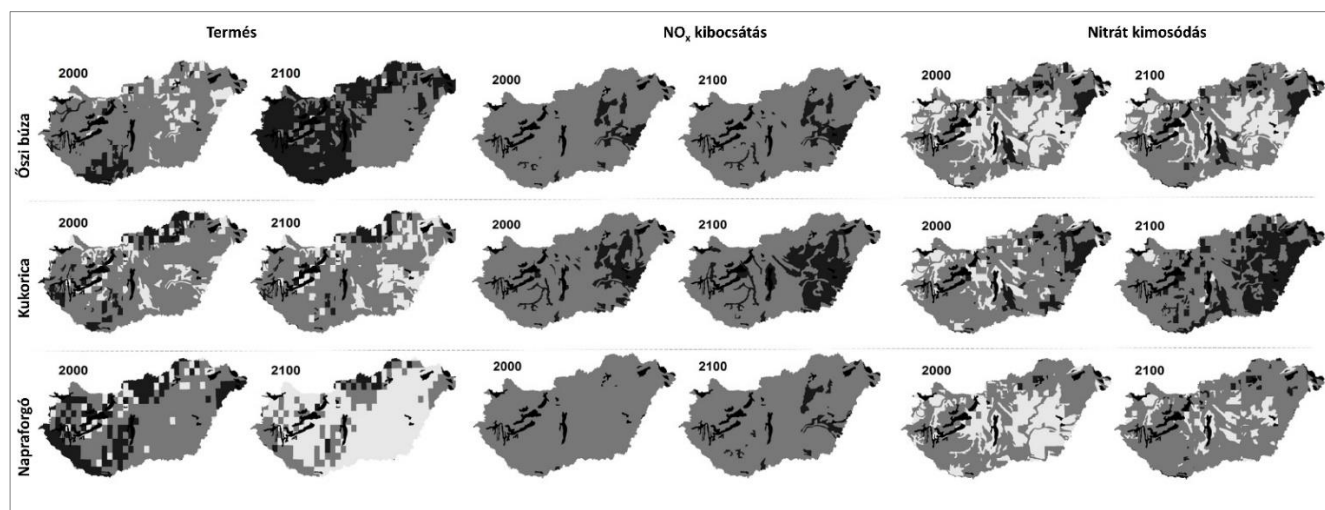
- Több évre visszatekintő együttműködés keretében elért előzmények vezettek a szimulációs modell eredményeinek kifinomult térbeli kiterjesztéséhez.
- A modell felépítése és outputjai a produkció mellett további talajfunkciók térbelileg is kivitelezhető becslésének lehetőségét is elérhetővé teszik.
- Végül, de nem utolsó sorban a nemzetközi szinten is egyre jelentősebb a törekvés a digitális talajtérképezés és a folyamatmodellezés összekapcsolására, jellemzően gyakorlati feladatok és döntéshozás támogatására (lásd például: Brevik et al. 2016b; Vereecken et al. 2016; Pereira et al. 2017).



4.31. ábra A 4M modell folyamatábrája (forrás: Fodor 2012).

A 4M a CERES (crop environment resource synthesis; azaz növény környezet erőforrás szintézis; Godwin and Singh, 1998; Ritchie, 1998; Ritchie et al., 1998) modell magyarországi adaptálásából származó napi léptékű, determinisztikus modell (Fodor et al. 2008, 2012), amit a fejlesztői Delphi környezetben újraírtak és kibővítettek egy megfelelő grafikus felhasználói felülettel az adatbevitel és az eredmények megjelenítésének támogatására. A modell működését a légkör-talaj-növény rendszer számszerű jellemzői határozzák meg paraméterek és változók formájában. A paramétereken túl, amelyek a rendszer fizikai, kémiai és biológiai jellemzőit definiálják, a főbb változók kezdő-, perem- és kényszerfeltételeit is meg kell adni a modell számára. A bemenő adatok között szereplő paraméterek a modell függvényeit és egyenleteit szabályozzák. A kezdfeltételek közül a talajszelvény egyes rétegeinek nedvesség- és tápanyagtartalma a legfontosabb. A peremfeltételek tulajdonképpen a napi meteorológiai adatok, de ide tartozik a talajvíz mélysége is. A kényszerfeltételek az emberi beavatkozás számszerű kifejeződései: trágyázással, vetéssel, öntözéssel és betakarítással kapcsolatos adatok. A növényi fejlődés és növekedés mellett a modell a talaj nedvesség-, hő és tápanyagforgalmát is szimulálja. Ez utóbbi magába foglalja a három fő tápelem (NPK) átalakulási és migrációs folyamatait, beleértve a nitrátlemosódást és az  $\text{NO}_x$  típusú üvegház hatású gázok kibocsátásáért felelős denitrifikációt is (4.31 ábra).

A 4M alapvetően nem térbeli modell. Térképi alapú eredmények szolgáltatására akkor képes, ha a bemenő adatok térbelisége megoldható. Az első országos vizsgálatok során térben durva, de már regionalizált becsléseket sikerült adni az ország agroökológiai potenciáljának klímaváltozással kapcsolatos változásaira. Fodor & Pásztor (2010) az ország jelenkori klímájára reprezentatív, 10 fokperces térbeli felbontású napi minimum és maximum hőmérséklet és csapadék adatokat, illetve az országos, ún. FAO talajtérkép (Máté et al. 1989) és annak típusai alapján hozzárendelt numerikus paraméterek segítségével szimulálta 3 fő gabona (őszi búza, kukorica, napraforgó) várható terméseredményeit egyszerű klímaszcenáriók felhasználásával. A talajok produkciós funkciója mellett a nitrát lemosódásra, illetve a denitrifikációra számított térbeli eredmények a talajok szűrésben, tisztításban megnyilvánuló funkcióit is regionalizálták (4.32 ábra).



4.32. ábra Az ország agroökológiai potenciáljának klímaváltozással kapcsolatos változásaira vonatkozó durva felbontású térbeli becslések (forrás: Fodor & Pásztor 2010). Termés: szürke szín jelöli a jelenlegi átlagot (őszi búza esetén 3300-4300 kg/ha, kukorica esetén 4500-6500 kg/ha, napraforgó esetén 2500-3000 kg/ha), a világosabb szürke átlag alatti, a sötét szürke pedig a feletti értékeket. Kibocsátás: szürke jelenlegi átlagos kibocsátási szint (0-2000 kg/km<sup>2</sup>/év), a sötét szürke átlag feletti érték. Nitrát kimosódás: szürke jelenlegi átlagos kimosódási szint (1000-3000 kg/km<sup>2</sup>/év), világosabb szürke átlag alatti, a sötét szürke pedig a feletti értékek.

A további vizsgálatokban a 4M agrometeorológiai modell talajtani meghajtása három alap talajtulajdonság (termőréteg vastagság, szervesanyag tartalom, USDA tizenkétszintű besorolás szerinti textúra) térbeli referenciával rendelkező adataival történt, a többi talajtani jellemző továbbra is beépített pedotranszfer formájában szerepelt<sup>14</sup>.

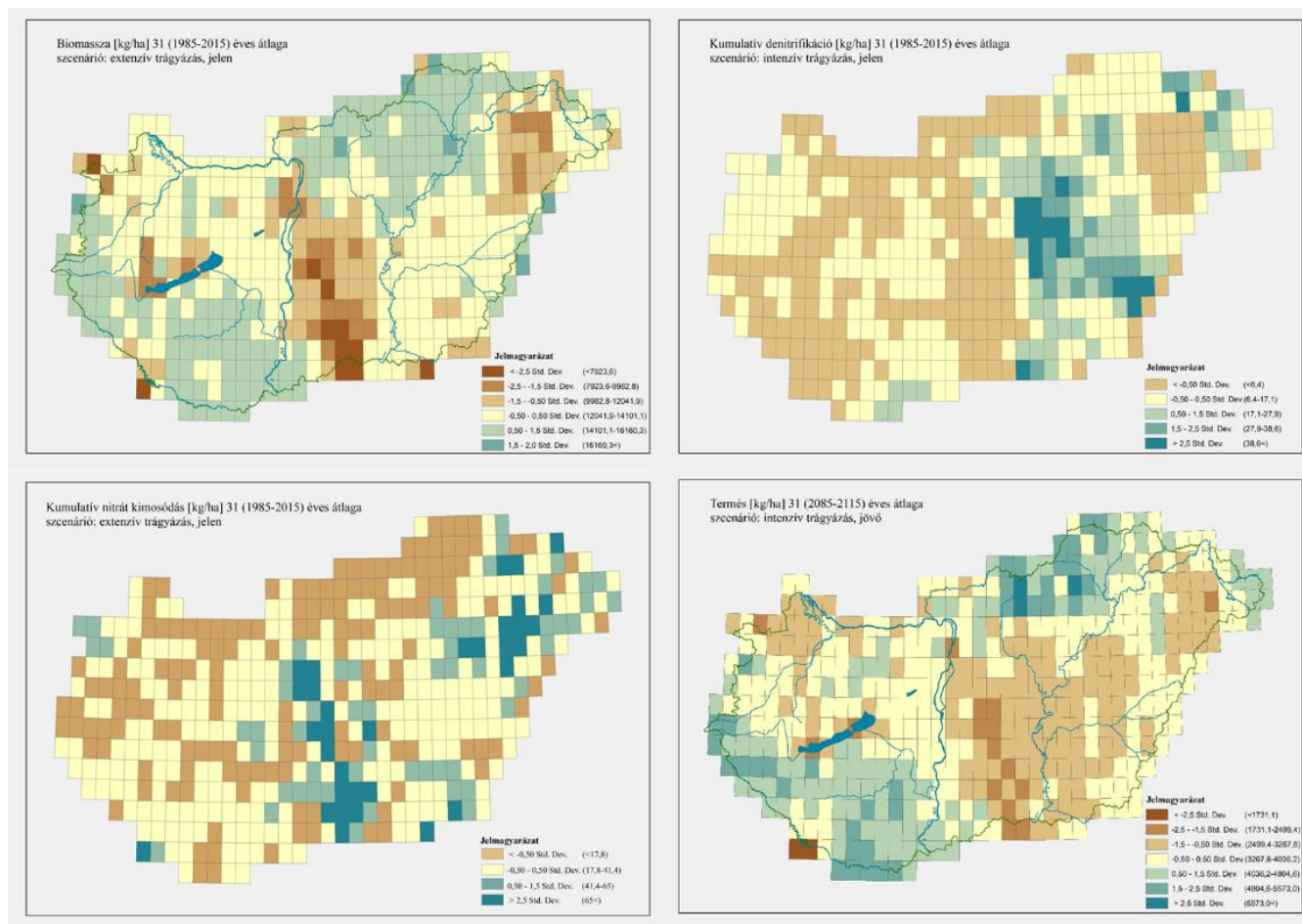
Fodor és munkatársai (2014) új alapokra helyezve végeztek a korábbi vizsgálathoz hasonló célokat kitűző, országos agroökológiai potenciál becslést. Ugyanazon klimatikus adatsorból kiindulva, az MV-WG sztochasztikus időjárás generátor (Fodor et al. 2010) szolgáltatott 31 éves jelenkori (1985-2015), illetve két klíma forgatókönyv szerinti jövőbeli (2085-2115) idősorokat. A talajtakaró jellemzésének központi szerepét a 2.5.3 fejezetben bemutatott USDA 12 osztályos talajtextúra térkép vette át. A termőréteg vastagságra és szervesanyag tartalomra vonatkozó térbeli információt az AGROTOPO releváns rétegei szolgáltatták. A jelentősen nagyobb térbeli felbontású talajtani

<sup>14</sup> A hosszabb ideje zajló együttműködés folyamánaként a jelenleg futó AGROMO fejlesztés (<http://agromo.agrar.mta.hu/>) egyik sarkalatos pontja a talaj reprezentációjának jelentős bővítése a modellezés során, köszönhetően többek közt az időközben jelentősen kibővült lehetőségeknek és a DOSoReMI kezdeményezés sokrétű eredményeinek.



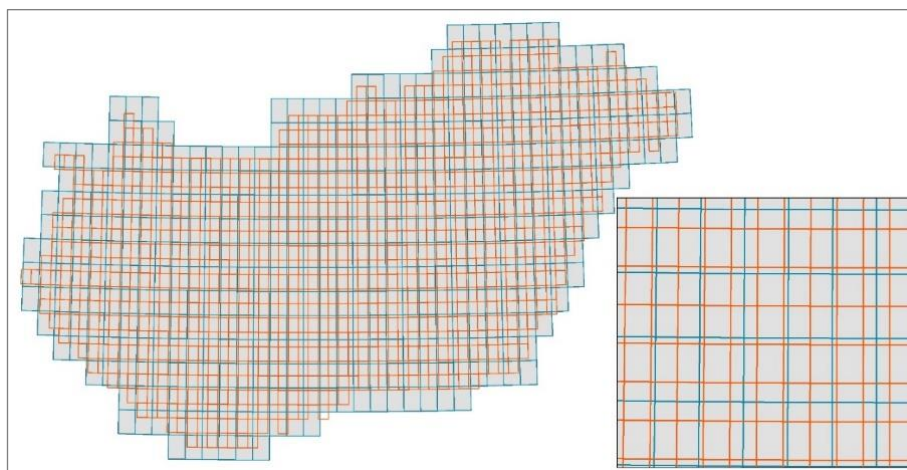
dc\_1576\_18

információkat a meteorológiai cellákra aggregáltuk a térbeli adatok harmonizációja érdekében. A termés és biomassza produkció mellett a nitrát lemosódás, illetve a denitrifikáció országos térbeli becslései is megszülettek (4.33 ábra).



4.33. ábra Az ország agroökológiai potenciáljának klímaváltozással kapcsolatos változásaira vonatkozó térbeli becslések

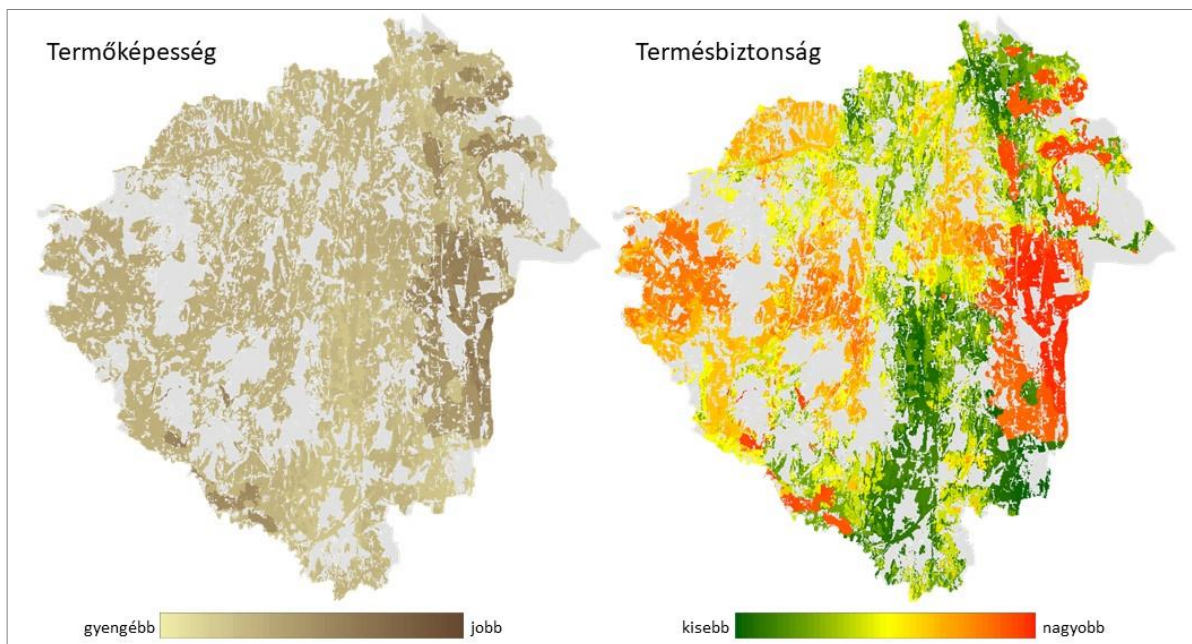
Megítélésünk szerint a talajtani információk meteorológiai cellákra végzett aggregálása jelentős információvesztéshez vezetett. (Hivatalosan) 2014-es (de 2012-ben elfogdott és 2011-es eredményekről beszámoló) cikkünk egyik konklúziója éppen az volt, hogy a meteorológiai adatok térbeli felbontásának növelése vezethet pontosabb eredményekhez. A CARPATCLIM adatbázis (Szalai et al. 2013) létrejötte és elérhetővé tétele egy igen fontos lépés volt a klímatis adatok térbeli modellekben való felhasználása terén. Sajnos a CARPATCLIM 10x10 km-es rácsmérete önmagában nem jelentett nagyságrendi ugrást a korábbiakban használt 10 fokperces térbeli felbontáshoz képest (4.34 ábra). Más úton kellett továbblépnünk a nagyobb térbeli felbontású eredmények elérése érdekében.



4.34. ábra A 10x10 km-es CARPATCLIM és a 10 fokperces rács összehasonlítása.



A fejezetben már említett Zala megyei munkálatok során használtuk először nagy felbontású, digitális talajtérképeinket térbeli aggregálásuk nélkül a 4M modell adatigényének kielégítésére az agráralkalmasság származtatása céljából. Ennek során a csapadékra vonatkozó bemeneti adatokat forgatókönyvi alapra helyeztük. A modell segítségével a termőhelyi adottságok alapján prediktív terméshozam térképeket állítottunk elő 3-3 tápanyag, illetve víz ellátottsági forgatókönyv szerint négy szántóföldi kultúrára vonatkozóan. A forgatókönyvek alapján származtatott eredmények aggregált értékére a szántóföldi alkalmasság, annak szórására pedig a termésbiztonság, illetve a termőképesség sérülékenysége indikátoraként tekintettünk.



4.35. ábra A termőképesség és a termésbiztonság Zala megyei, 36 forgatókönyvön alapuló becslésének eredménye.

A talajtakaró komplexebb jellemzésének céljából a bemenő talajparaméterek köre bővült, az USDA 12 osztályos besorolása szerinti fizikai féleség immáron két rétegre külön-külön szerepelt a fel- és altalajra vonatkozóan. A modell futtatása a számítási kapacitásokra tekintettel nem a térképek 20x20 méteres pixeleire történt. A termőréteg vastagság és szervesanyag tartalom térképeket is kategorizáltuk és a négy talajparaméterre vonatkozó osztályokból meghatároztuk a megyében előforduló kombinációkat. Ezekből állítottuk elő a modell bemenő állományait. A megye szántóföldi termelésére reprezentatív négy vezető növényt választottunk (búza, kukorica, napraforgó, repce), amelyek terméseredményeit modelleztük harmincéves szimulált idősorokkal, három-három víz-, illetve tápanyag-gazdálkodási forgatókönyv szerint (vízzel, illetve tápanyaggal jól/közepesen/gyengén ellátott scenáriók).

Az eredmények térbelisítése az egyes scenáriók eredményének a talajtani paraméterek alapján a földrajzi térbe való visszavetítésével történt. Az egyes pixelekre adódó 36 terméseredményt termőképesség és termésbiztonság szempontjából értékeltük (4.35 ábra), így módon regionalizálva a megye agráralkalmasságát. A modell eredményekből levezethető egyéb talajfunkciók nem képezték vizsgálat tárgyát.

A megyei eredményeken felbuzdulva fogtunk bele az országos elemzések újragondolásába, amihez az OTTr (a 3.2 fejezetben részletesen tárgyalt) 2015-ös megújítása adta a kezdő lökést.

A meteorológiai adatigényt immáron a CarpatClim adatbázis segítségével elégtettük ki, melyből a következő napi léptékű adatokat használtuk fel az 1961-2010-es, 60 év hosszú időszakból: globálsugárzás ( $\text{MJ/m}^2$ ), maximális és minimális hőmérséklet ( $^{\circ}\text{C}$ ) valamint csapadék (mm). A CarpatClim adatbázis 1104 db  $10 \times 10 \text{ km}$ -es cellával fedi le Magyarország területét. Az adatok a cellák középpontjára vonatkoznak, de az értékeket térbelileg érvényes közelítésnek tekintettük a cellák teljes területére vonatkozóan. Ennek megfelelően a  $100 \text{ km}^2$ -es cellákba eső egyhektáros pixelekre vonatkozó talajtani adatok és a cellák meteorológiai idősorai képezték a modell futtatások bemenetét.

A forgatókönyveken alapuló számítások - a rendelkezésre álló számítástechnikai kapacitás melletti<sup>15</sup> - kivitelezhetősége céljából egyszerűsíteni voltunk kénytelenek a talajok leírását. A talajszelvények feltalajának (0-30 cm) és altalajának (> 30 cm) fizikai félesége eredendően kategória változóként állt rendelkezésre, de a folytonos változó szerinti termőréteg vastagságot és szervesanyag tartalmat is kategorizálni voltunk kénytelenek,

<sup>15</sup> Egy növényre, a teljes országot és az 1961-2010-es időszakot lefedő modell szimuláció 23 órát vett igénybe egy Intel Core i7-es processzor 5 szálának felhasználásával.

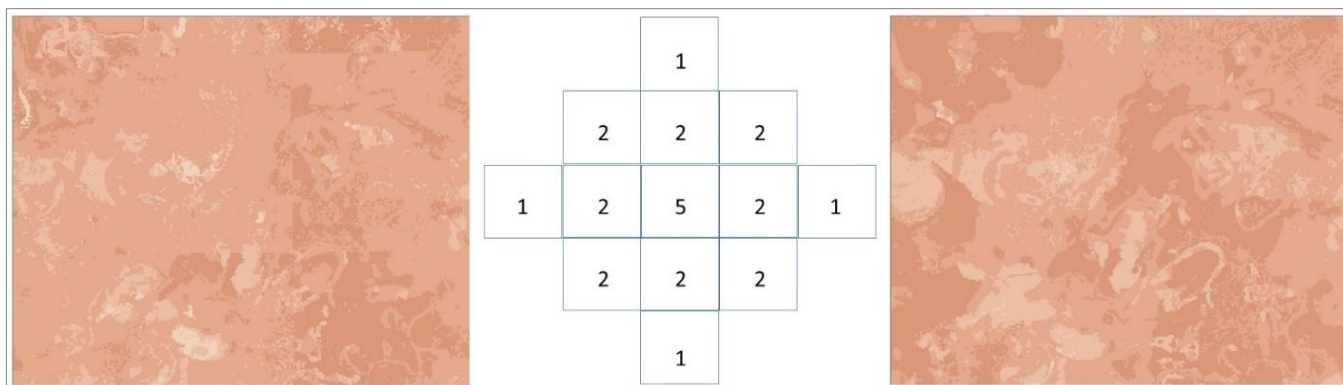
dc\_1576\_18

hogy ne pixelenként, hanem tulajdonság kombinációkként lehessen a futtatásokat elvégezni. A termőréteg vastagsága szempontjából három (< 50 cm; 50-100 cm; > 100 cm), a feltalaj humusztartalma szempontjából hat kategóriát (< 1%,; 1-1,5%; 1,5-2%; 2-3%; 3-5%; > 5%) különböztettünk meg. Ezek alapján a térbeli adatok és a futtatási eredmények összekapcsolására egy öttagú kódot alakítottunk ki (4.18 táblázat), amelynek segítségével tudtuk a földrajzi térbe visszavetíteni a model outputokat.

CC_id	txt1 kod	txt2 kod	rd kod	om kod	combo_kod
1451	t109	t209	d1	m4	ccid1451t109t209d1m4
1451	t109	t209	d1	m5	ccid1451t109t209d1m5
1452	t104	t204	d1	m5	ccid1452t104t204d1m5
1452	t104	t205	d1	m5	ccid1452t104t205d1m5
1452	t104	t208	d1	m4	ccid1452t104t208d1m4
1452	t104	t208	d1	m5	ccid1452t104t208d1m5
1452	t104	t209	d1	m4	ccid1452t104t209d1m4

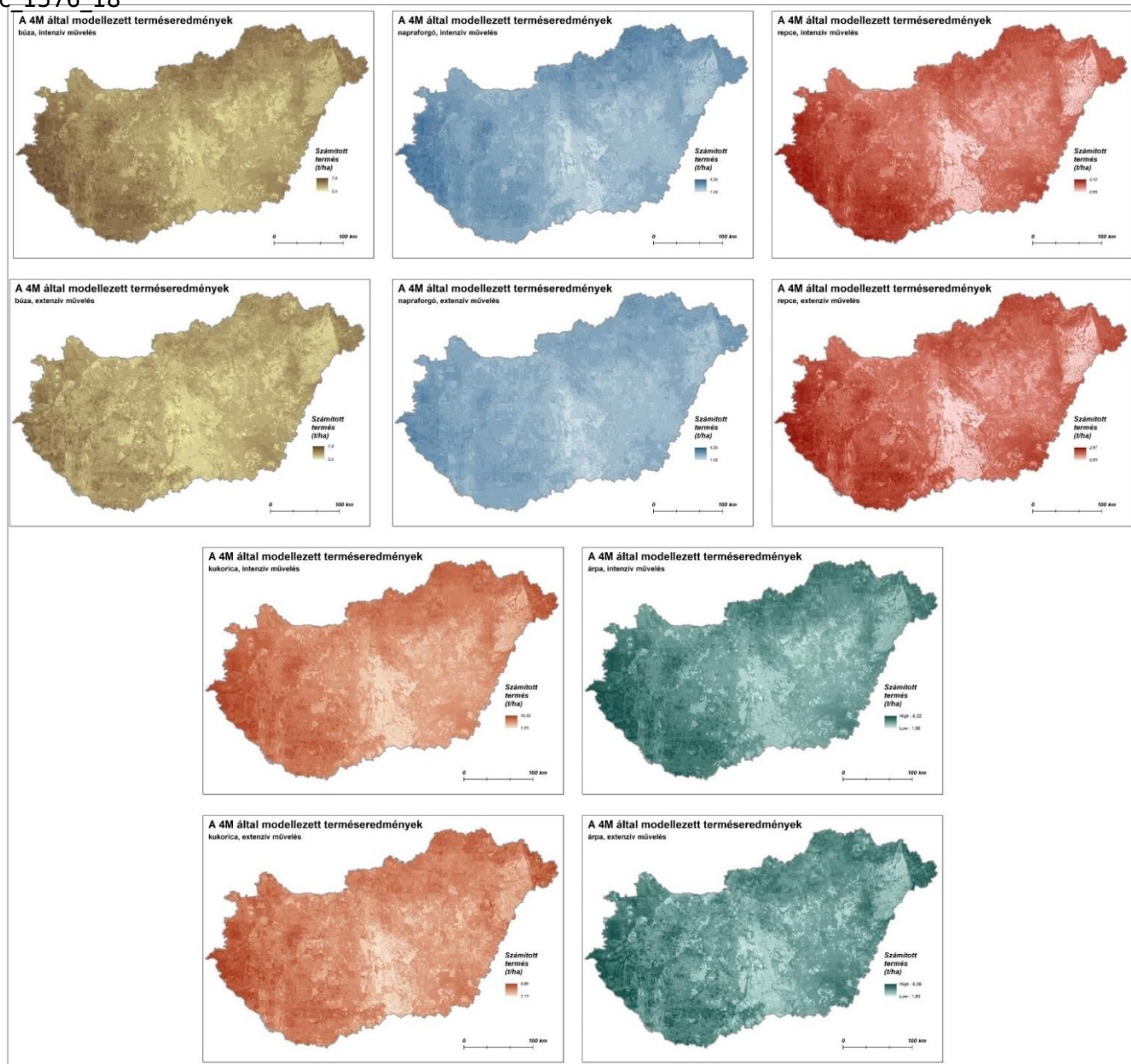
4.18. táblázat A 4M modell számára előállított, modellezési egységenként használt talaj-klíma kombinációk.

Főként a középhegységi területeken mindhárom klimatikus paraméter nagy területi változékonyságot mutat. A szomszédos cellák közti erős gradiensek a modell eredményekben is dominánsan megjelentek. Ennek kiküszöbölésére egy speciális lineáris szűrést végeztünk. A modellt nem csak az adott cella meteorológiai adataival, de a 12 szomszédjának meteorológiai adatával is lefutattuk (ami jelentősen megnövelte a számítási igényeket). Az így kapott futási eredmény súlyozott átlagát rendeltük végül az adott cellán belüli egyhektáros pixelekhöz (4.36 ábra).



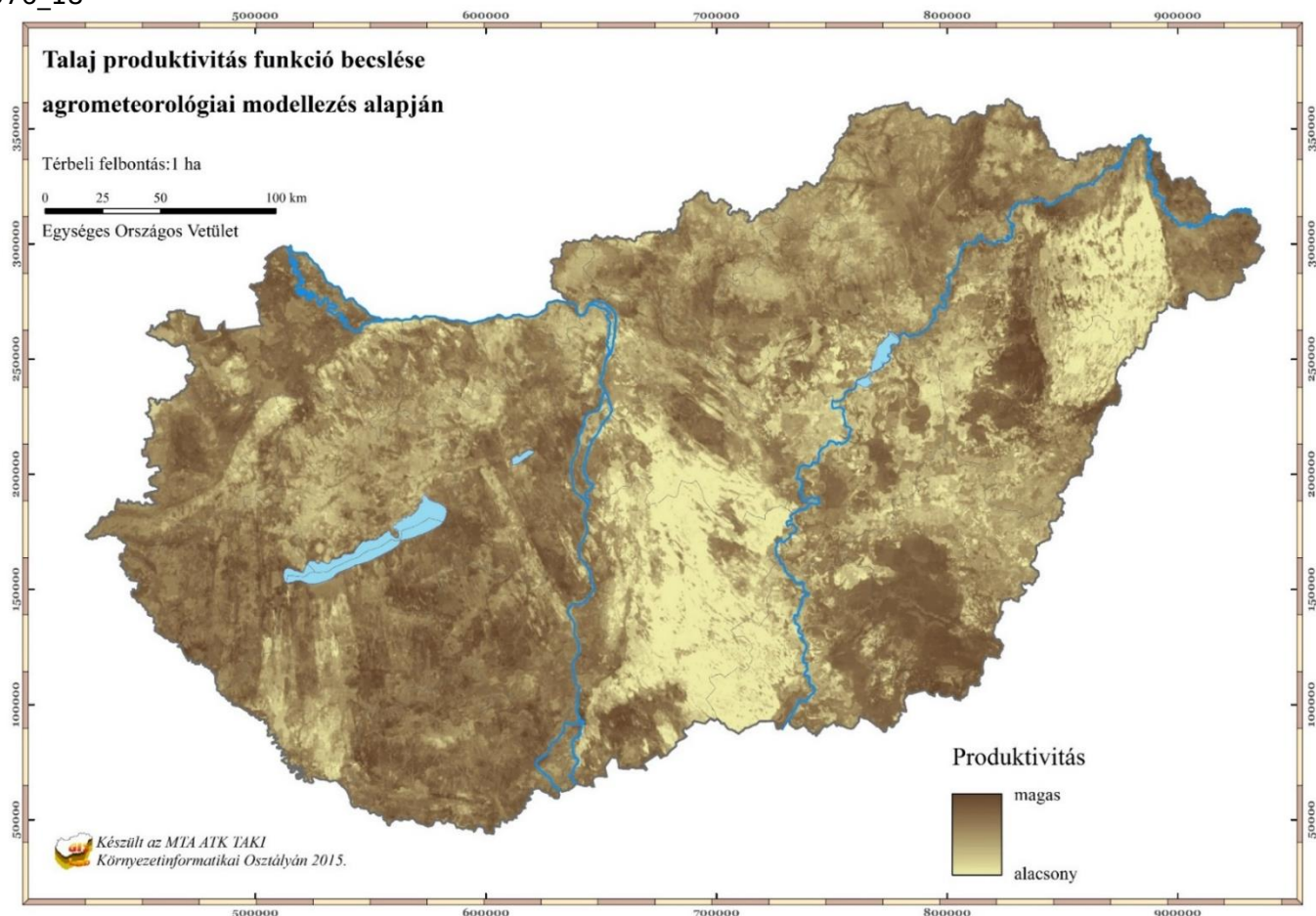
4.36. ábra A CARPATCLIM rács által a modell eredményekbe vitt artifaktumok eliminálása lineáris szűréssel. Baloldalon a cellánként futtatott eredmény, középen az alkalmazott kernel szűrő súlykiosztása, jobb oldalon a súlyozott átlagolásból származó eredmény.

Számításainkat kukoricára, őszi búzára, őszi árpára, napraforgóra és repcére végeztük el, mivel hazánkban ezt az öt növényt termesztik legnagyobb területi arányban (nagyjából a teljes vetésterület 80-85 százalékán). A modellezés során intenzív esetben a kukorica 170, az őszi búza 150, az őszi árpa 140, a napraforgó 100, a repce pedig 170 kg/ha/év (hatóanyag) nitrogén műtrágyát kapott, extenzív esetben ezen adagok felét. Az öt növényre és két tápanyagellátási forgatókönyv szerint modellezett országos terméseredményeket (4.37 ábra) 1-100-as skálára transzformálva normalizáltuk, majd pixelenként gabonaegyenérték alapján alkalmazott súlyokkal összegeztük az értékeket, így becsülve térben országosan a talajok talajtermőképességét egyhektáros térbeli felbontással (4.38 ábra).



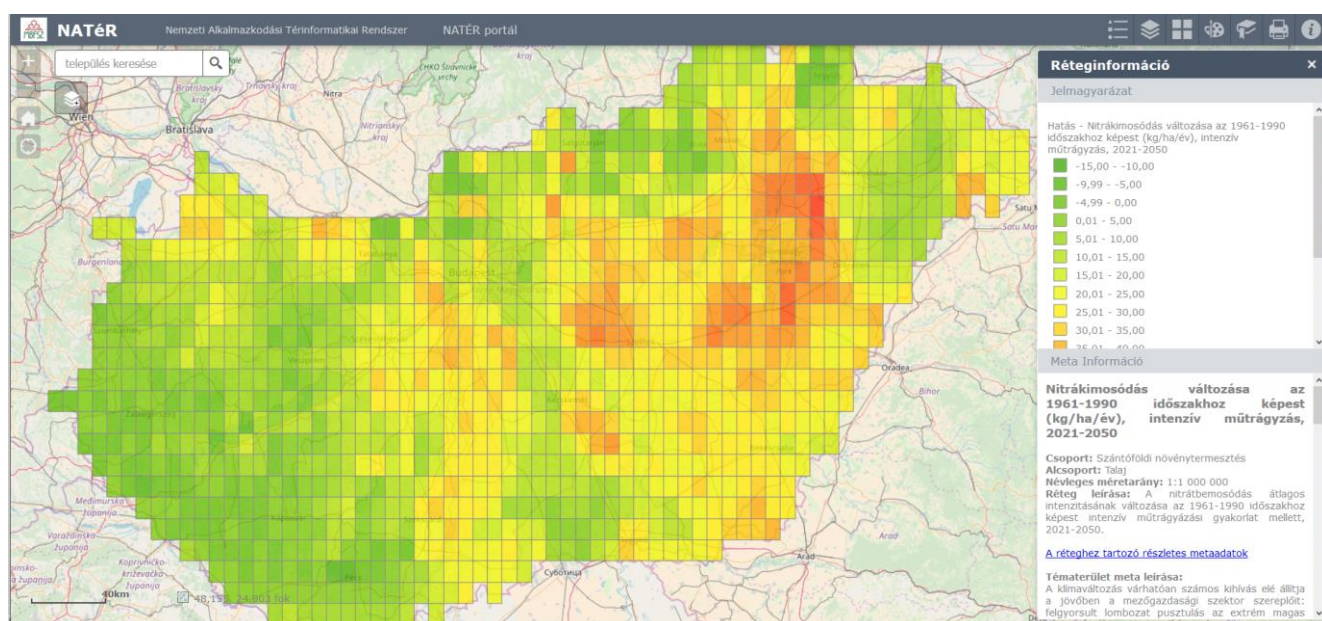
4.37. ábra A 4M által modellezett országos terméseredmények 5 növényre, két tápanyagellátási forgatókönyv szerint.





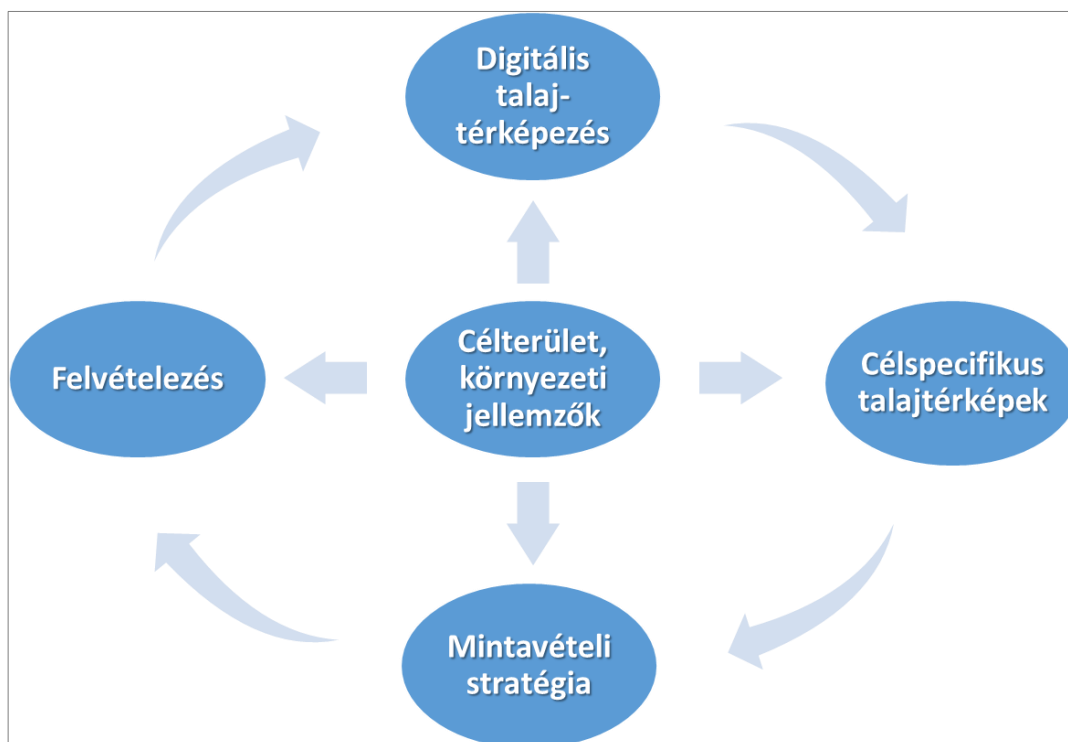
4.38. ábra A 4M által 5 növényre, két tápanyagellátási forgatókönyv szerint modellezett országos terméseredmény térképek alapján becsült talajtermőképesség.

A növényi fejlődés és növekedés mellett a 4M modell a talaj nedvesség-, hő- és tápanyagforgalmát is szimulálja, ezért a módszer magában hordozza bizonyos szabályozó funkciók (pl. nitrátlemosódás, denitrifikáció) regionalizálásának lehetőségét is. A produktivitást és nitrátlemosódást hosszútávú klímaszenáriók mentén is modelleztük alkalmazkodási és sérülékenység vizsgálatok támogatására, amelynek eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR; <http://nater.mbfisz.gov.hu//hu/node/2>) keretében hasznosulnak.



4.39. ábra A digitális talajtérképeken alapuló 4M modellezési eredmények a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszerben (forrás: <https://map.mbfisz.gov.hu/nater/>).





5.1 ábra Grafikus összefoglaló.

A közelmúltban a Tokaji Történelmi Borvidéken a szőlő termőhelyek állapotának felmérése vált szükségessé a fenntartható, minőségi borkészítés támogatása érdekében. Mivel a talajok fontos szerepet játszanak a szőlőtermesztési potenciál meghatározásában, felmerült az igény a terület komplex és korszerű, térbeli talajtani jellemzésére. Mindez lehetőséget teremtett egy, a mintavétel-tervezéstől a célspecifikus digitális talajtérképek előállításáig tartó térképezési-felvételezési munkafolyamat kialakítására. Ennek keretében elsődleges, illetve komplex talajtulajdonságok és folyamatok felhasználói igényeknek megfelelő, döntően aktuális talajtani felvételezésen alapuló, térképezését végeztük el a Tokaj-Hegyaljai szőlőterületeken, két egymásra épülő körben. Az elsődleges talaj mintavételi stratégia kidolgozásánál azokat az alapvető környezeti sajátosságokat – lejtőszög, kiettség, alapkőzet – vettük figyelembe, amelyek domináns szerepet játszanak a fő talajtulajdonságok kialakulásában. A terepi munka első részében 200 helyszínről történt talajmintavétellel egybekötött felmérés, hogy általános képet kapjunk a terület talajtani adottságairól és azok átnézetes térbeli viszonyairól. A második körös mintavételi helyszínek kijelölése az elsődleges felmérés és annak tapasztalatai, illetve a lokális táji adottságok figyelembevételével történt a mintavételi pontok számára és elhelyezkedésére együttesen optimalizálva. Ezek alapján a második fázisban további 650 helyszínt felvételeztünk. Az adatgyűjtés kiterjedt a talajtípus, termőréteg vastagság, talajképző kőzet, erodáltság foka, szervesanyag tartalom meghatározására és egyéb fizikai és kémiai talajtulajdonságokra. A térképezési munkálatok keretében 33-33 elsődleges talajtulajdonság, illetve általánosabb értelemben vett talajtérképet készítettük el, egyrészt csupán az első körös felmérési adatokra, másrészt a két felvételezés összes adatára támaszkodva. Prediktív térképeink a szőlő termőhely különböző szempontú értékelése számára nyújtanak alapvető támogatást.

### 5.1 Elsőkörös mintavétel-tervezés

A talajtérképezéshez szükséges talajtani vizsgálatok során a mintavételezési stratégia kialakítása az első lépés annak érdekében, hogy az adott területen fellelhető talajtani sajátosságokról objektív információt nyerhessünk. A mintavételi terv alapján begyűjtött minták segítségével alkothatunk képet a terület talajainak jellemzőiről, állapotáról, folyamatairól, illetve funkcióiról. A mintavételi terv határozza meg a mintaszámot, illetve a mintavételi helyszíneket. Különböző mintavételi stratégiák alapján előálló céltérképek a talajtakaró eltérő leképezését eredményezhetik, illetve döntő hatással vannak a térképek pontosságára (Brus & de Gruijter 1997; de Gruijter et al. 2006; Brus et al. 2006; Gregoire & Valentine 2007; Heim et al. 2009). Ezért a mintavételi stratégia megalapozása és precíz kidolgozása kiemelten fontos a terepi munkálatok kezdete előtt. A nem megfelelő vagy

hibás mintavételi terv a későbbiekben ki nem javítható hibákat eredményezhet, melyek kumulatíván jelennek meg a végső eredményekben, következtetésekben.

Egyszerű véletlen mintavétel lényegében csupán a térképezendő terület talajtani variabilitásának előzetes ismerete híján, vagy annak korlátozottsága esetén javasolt (Oliver & Webster 1986). Amennyiben a terület földrajzilag kompakt részekre osztható, ezen terület egységek felhasználhatók a véletlen mintavétel rétegzésére (Brus 1994). A rétegzett véletlen mintavétel jellemzően hatékonyabb az egyszerű véletlen mintavételnél. A talaj és a környezeti változók közti korreláció figyelembevétele tovább növeli a mintavétel hatékonyságát. Ennek során a talaj variabilitásának megragadása céljából a környezeti segédváltozók által kifizített fázistér mintákkal történő reprezentatív leképezése a cél (Minasny & McBratney 2006; Mulder et al. 2013). A feltételes latin hiperkocka mintavétel a környezeti segédváltozók többváltozós eloszlásának rétegzésével optimalizálja a fázisteret, aminek eredményeképpen a mintavételi eloszlás a segédváltozók eloszlását követi. Hatékonyságának köszönhetően széles körben elterjedt (Worsham et al. 2012; Louis et al. 2014; Pahlavan Rad et al. 2014; Silva et al. 2015). A van Groenigen (1997) által bevezetett térben szimulált hűtés (Spatial simulated annealing SSA;) algoritmus is gyakran alkalmazott módszer a talajtanban és a környezettudományokban (Van Groenigen 2000; Brus & Heuvelink 2007; Webster & Lark 2013). Nagy előnye, hogy a mintavételi pontok környezeti segédinformációk szerinti reprezentativitása mellett mintavételi kényszereket is számításba tud venni (van Groenigen & Stein 1998). Ilyenek (i) a korábban gyűjtött mintavételi pontok figyelembevétele; (ii) a mintavételi pontok számára vonatkozó korlátok; (iii) a mintavételezés számára hozzá nem férhető vagy irreleváns területek; (iv) a mintavétel költségkerete; illetve (v) az előre definiált megengedhető bizonytalanság (Szatmári 2017).

Az első körös mintavételi terv kidolgozása a következő peremfeltételek mentén történt:

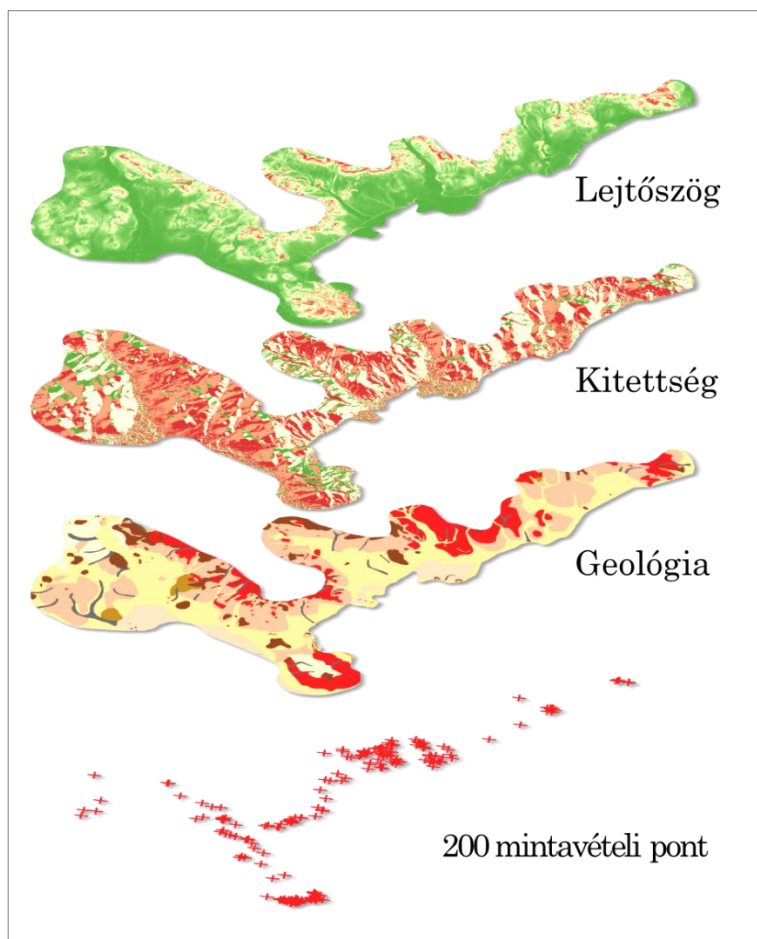
- A mintavétel célja termőhelyi kataszteri minősítéséhez szükséges talajtani termőhelyi alkalmasságot meghatározó tényezők térképezése digitális talajtérképezési módszerek felhasználásával.
- A céltérképek tervezett térbeli felbontása 25 m.
- A térképezendő terület a Tokaji borvidék 11.000 hektár szőlő területe.
- A mintavételezés első lépésben a Tokaj Kereskedőház Zrt. érdekeltségi körébe tartozó, saját tulajdonú és szerződéses területein végezhető.
- A terület felmérését 150-200 új helyszín felkeresése és mintázása alapján kell elvégezni.

A mintavétel-tervezés elméleti háttérét az SSA módszer képezte. A vizsgált terület termőhelyi, talajtani jellemzőit döntően a domborzati és földtani viszonyok befolyásolják. A talajképződési folyamatok a térképezésben elengedhetetlen figyelembevételét ezen környezeti elemekre vonatkozó térképi alapú adatok ismerete hatékonyan támogatja. Az egyes talajtulajdonságok térbeli kiterjesztéséhez ezért környezeti segédváltozókként elsődlegesen digitális domborzatmodellre és annak deriváltjaira, illetve a konkrét térképezési munka során potenciálisan igen erős predikciós erővel rendelkező földtani alaptérképre számítottunk támaszkodni. A térképezés hatékonyságának és megbízhatóságának növelése érdekében a mintavétel-tervezés során ezen környezeti elemek térbeli viszonyaira voltunk tekintettel, azaz a mintavételi pontokat ezen változók alkotta fázistérben terveztük reprezentatív módon elosztani.

Mindezen elvek gyakorlatba ültetésére a fiziográfiai viszonyokat a domborzat két első deriváltjának (lejtés, kitettség) és a földtani alapközeg szakértői osztályozásával jellemeztük. Ezek révén egy háromváltozós kombinációval jellemeztük a teljes területet (5.2 ábra) a felhasznált digitális domborzat modell (ASTER GDEM 2000) által definiált 30 méteres térbeli felbontásban. A potenciális 200 mintát ezen kombináció hármas együttes eloszlása alapján osztottuk szét, meghatározva például hány mintavételi pontnak kell enyhe, déli kitettségű lejtőn andezitra esnie ahhoz, hogy a mintavételi helyszínek megfelelően reprezentálják a teljes térképezendő terület ilyen jellegű részeit.

Ezek után következett a tematikusan immáron reprezentatív pontok geometriai helyének kijelölése. Optimális térképezéshez a geometriai térben is viszonylag egyenletes eloszlást kellene biztosítani. Sajnos erre a mintavételezés elvégzésére vonatkozó kényszerfeltételek nem adtak módot. Az SSA közvetlen alkalmazására a nagyon elbonyolított számítások miatt így nem volt mód, csupán az elveihez tudtunk igazodni. Ennek során tekintettel voltunk egy-két további gyakorlati körülményre is.

Mivel az egy- és néhánypixeles területek megbízhatósága, reprezentativitása és a mintavétel logisztikája szempontjából való érzékenysége egyszerre okozott gondot, térinformatikai módszerek segítségével a maximális összefüggő, a vizsgált tematikus és térbeli felbontásban homogén területeket próbáltuk beazonosítani. Mindezt úgy, hogy közben figyelemmel legyünk ezek tematikus reprezentativitására is. Addig szűrtük tehát az állományokat, amíg végül beazonosítottuk és mintázás szempontjából sorrendbe állítottuk azt a 250 legnagyobb, összefüggő teljes egészében az érdekeltségi körbe tartozó, kitettség, lejtés és alapközet alapján homogén terület egységet, amelyen belül az összes paraméter hármas kombináció már legalább a minimális számban előfordult.



5.2 ábra Az első körös mintavétel-tervezés során használt környezeti segédváltozók és az ezek kombinációi alapján kijelölt mintavételi helyszínek.

Ezek közül választottuk ki a végleges mintázási egységeket. A kiválasztás során két feltételnek kellett teljesülnie:

- A mintázandó terület egységei paraméter hármasai ugyanazt az eloszlást mutassák, mint a paraméter kombinációk eloszlása a teljes térképezendő területen.
- A mintavételi egységek középpontjában kitűzött potenciális mintavételi helyek távolsága maximális legyen.

Az ismertetett elvi és gyakorlati optimalizálási folyamat elvégzése révén előállított mintavételi pontfelhő még egy utolsó ellenőrzésen ment át, melynek során rendelkezésre álló távérzékelési adatok segítségével a mintavételi helyszínek valós földrajzi térben való elhelyezését szükség esetén minimális mértékben korrigáltuk ügyelve arra, hogy a mintázandó objektumból ne lépünk ki.

## 5.2 Elsőkörös, célspecifikus digitális talajtérképek előállítása

A felvételezési munkákat, ideértve a terepi és a laboratóriumi vizsgálatokat, a jelenleg szabványos módszerek alkalmazásával végeztük. A munka sajátossága, illetve a nagyüzemi mezőgazdasági művelés alatt álló földterületektől eltérő terepviszonyok és művelés miatt ugyanakkor speciális talajmintázó és talajszelvény leíró protokollt alakítottunk ki, melyhez speciális leírólapokat szerkesztettünk (5.3 ábra). A megszedett mintákból akkreditált laboratóriumokban rutin vizsgálatokat végeztettünk el, a kitűzött feladat céljainak megfelelő fizikai és kémiai talajparaméterek meghatározására.

A fúrásokhoz Atlas Copco gyártmányú Cobra TT benzinmotoros fúrógépeket használtunk, 80-100 mm belső átmérőjű ablakos magmintavevő fúrószárakkal (5.4 ábra), megőrizve így az eredeti talajrétegződést és a jellemző talajszerkezetet. A fúrómag kiemelése után megtisztítottuk a talaj felületét a szennyeződésektől, hogy a valós szelvénynek megfelelően tudjuk leírni a szelvényt (5.5 ábra).

Minden fúrásból mintát vettünk, azzal a megkötéssel, hogy a mintának el kellett érnie a laboratóriumi vizsgálatokhoz szükséges anyag mennyiséget (1,5-2 kg). Néhány esetben ezért előfordult, hogy 10 cm-nél vékonyabb közberétegződések csak a szelvényleírásban jelennek meg, ezekből nem történt mintavétel. A fúrásokat lehetőség szerint 2 méterig, vagy az összefüggő tömör kőzet megjelenési szintjéig mélyítettük. A helyszíni vizsgálatok során elkülönítettük az egyes talajrétegeket, a hazai és nemzetközi talajtanban elfogadott szempontok szerint (Jassó et al. ; FAO 2006) rögzítettük azok alapvető tulajdonságait, mint:



dc\_1576\_18

- szín,
- nedvességállapot,
- textúra (fizikai talajféleség),
- tömődöttség,
- szerkezet,
- durva vázrészecskék aránya, illetve mérete,
- kiválások (agyaghártya, másodlagos karbonát, Fe-Mn kiválás, glejesség),
- karbonát tartalom.

[illegible]

### 5.3 ábra. Talajszelvény leíró lap

5.4. ábra: A felvételezés során használt Cobra TT (Atlas Copco) talajfúró készlet



5.5. ábra: Fúrómag fotódokumentációja.

A szelvényre összességében vonatkozó információkat is rögzítettük:

- környezeti elemek (lejtés, kitettség, erózió jellege, illetve annak erőssége),
- termőréteg vastagsága,
- a talajképző kőzet (vagy nem talajképző, de a szelvény alján feltárt fekvő kőzet) mállottsági foka,
- a szelvény vízgazdálkodási tulajdonságainak helyszíni értékelése.

A céltérképek elkészítéséhez, a talajképződési tényezők szem előtt tartásával a következő környezeti segédinformációkat használtuk fel:

- Légi LIDAR felvételezésből származtatott digitális domborzat modellből levezett deriváltak: tengerszint feletti magasság, lejtőhajlás, kitettség, fekvés, sík- és profilgörbület, topográfiai nedvesség index, LS faktor, topográfiai pozíció index, vízgyűjtő terület, konvergencia index, csatorna-hálózat alapszint, völgymélység, lefolyástalan mélyedés, lefolyási hálózattól való vertikális távolság.
- Többidőpontú (2001. január 20.; 2014. március 12.; 2014. június 9.; 2013. július 8.; 2014. augusztus 3.; 2002. december 9.) Landsat felvételek kék (0,45–0,52  $\mu\text{m}$ ), zöld (0,52–0,60  $\mu\text{m}$ ), vörös (0,63–0,69  $\mu\text{m}$ ), NIR (0,76–0,90  $\mu\text{m}$ ) és 2 SWIR (1,55–1,75  $\mu\text{m}$ ; 2,08–2,35  $\mu\text{m}$ ) sávjai, illetve az azokból képzett indexek (EVI: Enhanced Vegetation Index; MSAVI: Modified Soil-adjusted Vegetation Index; NDMI: Normalized Difference Moisture Index; NDVI: Normalized Difference Vegetation Index; SAVI: Soil-adjusted Vegetation Index).



- A területen elvégzett légi hiperspektrális felvételezés 52, rendelkezésre bocsátott sávjából számított első három főkomponens.
- Klimatikus paraméterek interpolált térképei: éves átlagos csapadék és éves átlaghőmérséklet.
- Magyarország 1:100.000-es méretarányú fedett földtani térkép digitális verziójának (FDT100) mintaterületi kivágata a talajképző kőzetek FAO-féle kódrendszere alapján újrakódolva.
- Felszínborítás: CORINE Land Cover 1:50 000 (CLC50) adatbázis mintaterületi kivágata.

A célváltozó és a predikciót biztosító változók közti kapcsolatot (a fizikai talaj-táj modell fázistérbe való levetülését) kvantitatív jellemzők esetén a regresszió krigelés első lépését képviselő többszörös lineáris regresszióval, kvalitatívknál pedig döntési fákkal vizsgáltuk. A numerikus változóknál a regressziós modellből fennmaradó rezidumok krigelése következett, ami egyrészt a térbeli predikció pontosságára vonatkozó becslést is szolgáltatva, másrészt a determinisztikus taggal kombinálva eredményezte a tematikára vonatkozó térképet.

Az egyes kategória térképhez szükséges segédadatok kiválasztása többváltozós statisztikai elemzés alapján történt. Diszkriminancia analízis és véletlen erdő (random forest) adatbányászati módszer segítségével teszteltük a segédváltozók prediktív erejét. Az adott céltéma szempontjából irrelevánsnak bizonyuló változókat kivettük a további elemzésből. A döntési fa algoritmusban a céltéma kategóriarendszere jelentette az osztályozandó, függő változót, a környezeti segédadatok pedig a független változók halmazát. Az osztályozást különböző paraméterezéssel végeztük el és ezek közül választottuk a validálás alapján legjobb osztályozást adó algoritmust. Az osztályozás eredményeit egy-egy SQL mondatfüzér formájában alkalmaztuk a tanuláshoz használt, teljes területi fedettséget nyújtó, nagy térbeli felbontású fedvényekre. A pixel alapú kategorizálás eredményeképpen álltak elő a céltérképek. Az osztályozó fa algoritmus a célkategóriák egyes becsléseinek megbízhatóságára is szolgáltat információt az adott osztály eltalálásának valószínűségi meghatározásával. Ezt az osztályozás eredményeihez hasonló SQL mondatfüzér segítségével szintén regionalizálni tudjuk a teljes területi fedettséget nyújtó, nagy térbeli felbontású fedvényekre vonatkoztatva.

A kartografált térképek mindkét módszer esetén tartalmazzák a digitális talajtérképezési módszer lényegéből következően adódó, a térbeli becslés megbízhatóságát bemutató melléktérképet is (5.6 ábra). A céltérképeknek három csoportja volt. A 400 pontos szőlő termőhelyi kataszteri minősítéshez szükséges talajtani termőhelyi alkalmasságot meghatározó tényezők térképei.

- Genetikai talajtípus
- Talajképző kőzet
- Kémhatás és mészállapot
- Fizikai talajféleség
- A talaj vízgazdálkodási tulajdonsága
- Humuszkészlet
- Termőréteg vastagsága
- A terület egyöntetűsége a talajtípus szempontjából
- A terület vízgazdálkodása a helyszínen értékelve
- Erózió mértéke

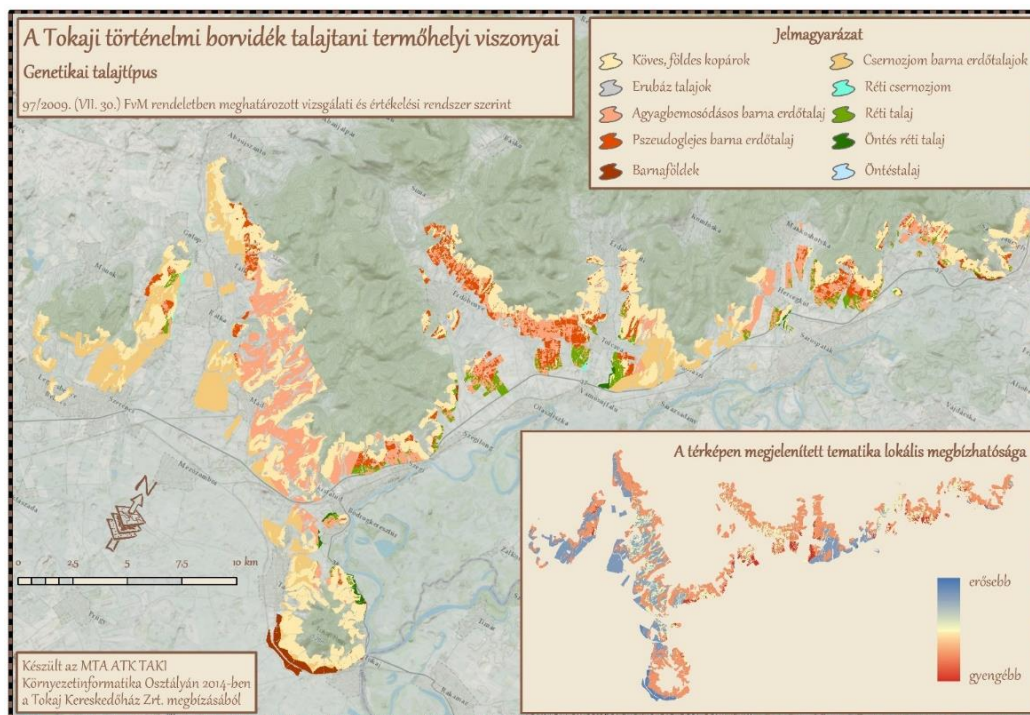
Az ún. alaptérképek lényegében elsődleges talajtulajdonság térképek, a többségük különböző mélységi rétegekre vonatkozóan:

- Alapkőzet térkép
- Termőréteg vastagsága (talajosodott réteg vastagsága)
- A talaj pH értéke (vízben) 0-30 cm-es rétegben
- A talaj pH értéke (vízben) 30-60 cm-es rétegben
- A talaj pH értéke (vízben) 60-90 cm-es rétegben
- A talaj szénsavas mésztartalma 0-30 cm-es rétegben
- A talaj szénsavas mésztartalma 30-60 cm-es rétegben
- A talaj szénsavas mésztartalma 60-90 cm-es rétegben
- Fizikai talajféleség USDA osztályozás szerint 0-30 cm-es rétegben
- Fizikai talajféleség USDA osztályozás szerint 30-60 cm-es rétegben
- Fizikai talajféleség USDA osztályozás szerint 60-120 cm-es rétegben
- Eróziós formák
- Humusztartalom %-ban 0-30 cm-es rétegben
- Humusztartalom %-ban 30-60 cm-es rétegben

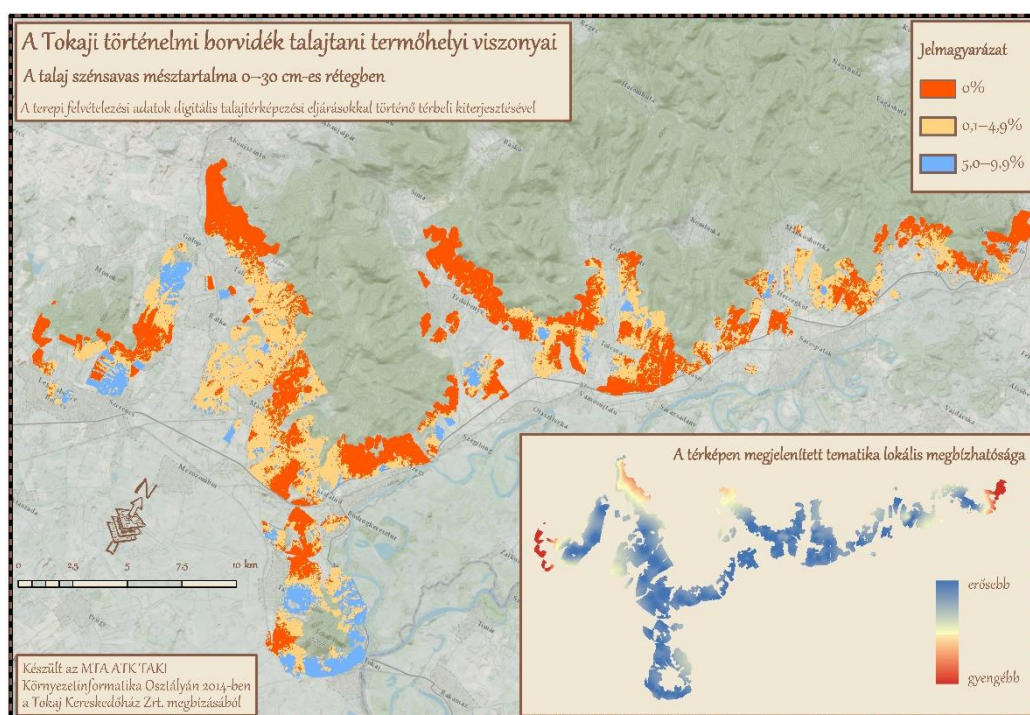
A termőhelyi modellezéshez speciális, úgynevezett termelési céltérképek előállítására is szükség volt, melyek részleges átfedést mutatnak az alaptérképek némelyikével, illetve van közöttük olyan, amely ezekből

származtatható. A többség azonban speciális, a felvételi adatok alapján modellezett unikális, általánosabb értelemben vett talajtérkép.

- A talaj legalacsonyabb pH értéke a 0-60 centiméteres rétegben
- Kritikus vízellátottság terület
- A talaj kövessége
- Termőréteg vastagsága (talajosodott réteg vastagsága)
- A talaj hasznosítható vízkészlete (mm)
- A talajképző kőzet keménysége
- A talaj víztelítettsége szabadföldi vízkapacitáson 1,2 m mélységben
- A talaj vízvezetése (drainage) a származtatott mutatóhoz
- Talaj felszín színe
- A gyökerekkel legjobban behálózott talaj mélység a származtatott mutatókhoz
- A talaj szénsavas mésztartalmának maximális értéke a 120 cm-es talajmélységig.



5.6. ábra: Elsőkörös, a kataszteri minősítéshez szükséges céltérkép: Genetikai talajtípus a predikció térbeli bizonytalanságának becslésével kiegészítve.



5.6. ábra: Elsőkörös alaptematika térkép: A talaj szénsavas mésztartalma 0-30 cm-es mélységben.

### 5.3 Második körös, optimalizált mintavétel-tervezés

A 2014-es felvételezési időszakban feltárt 200 mintavételi helyszín adatainak és digitális talajtérképezési módszerek felhasználásával első közelítésben feltérképeztük a Tokaji borvidék talajtani sajátosságait, melyek előre meghatározott tematikákban és léptékben, térképi formában jelentek meg. Az eredmény térképek mellett párhuzamosan elkészültek a térképezési módszer bizonytalanságát számszerűsítő állományok, melyek az adott tematika lokális megbízhatóságát reprezentálják.

A második körös mintavételi terv célja, hogy az eredmény térképek pontosságát és lokális megbízhatóságát növeljük annak érdekében, hogy a térképeken megjelenő tematikák az adott léptékben hűen tükrözzék a borvidék termőhelyi sajátosságait. Ez a mintavételi stratégia optimalizálásával érhető el, melynek során a korábbi mintavételezés, illetve az előállított valószínűség elméleti modellek felhasználásával a megismert talajtani tematikákra optimalizáljuk az új mintavételezést, mellyel szembeni elvárás, hogy a térképek pontosságát és lokális megbízhatóságát szignifikánsan növelje, ugyanakkor előállításuk gazdaságos legyen az adott léptékhez mérten. A mintavételi stratégia kialakításához az SSA mintavétel optimalizációs algoritmust használtuk fel, melynek többváltozósra történő – vagyis egyidejűleg több talajtulajdonságot is figyelembe vevő – fejlesztése Szatmári Gábor doktoranduszom nevéhez fűződik (Szatmári et al. 2015, 2018; Szatmári 2017). A kidolgozott mintavétel optimalizációs eljárás kedvező tulajdonságai:

- az első körös térképezéssel konzisztens valószínűség elméleti modellen alapul,
- a térképezendő tematika lokális megbízhatóságát apriori használja fel a mintavétel optimalizáció során,
- képes figyelembe venni a mintavételezés számára hozzá nem férhető területeket,
- számításba tudja venni a korábban már mintázott területeket.

Az első körös térképeink alapvetően két típusúak és két különböző modellezési módszer keretében születtek. Eltérő voltuk miatt választani kellett, melyik valószínűség elméleti modellel konzisztensen építsük fel a mintavételi tervet. Kidolgozottsága miatt a regresszió krigelemmel számított, numerikus jellemzőket regionalizáló alaptérképek mellett döntöttünk. A felső, 0-30 cm-es réteg hét alapjellemzőjének (humusztartalom, pH, mésztartalom, termőréteg vastagság, homok-, iszap- és agyagtartalom) térbeli predikcióit és az azokból származtatott térbeli struktúrákat használtuk a második körös mintavétel optimalizáció során.

A korábbi, összesen 200 db felvételi ponton alapuló térképezés során felépített valószínűség elméleti modellek struktúráját, illetve az egyes tematikus térképek lokális megbízhatóságát kifejező, ún. hiba varianciát, mint optimalizációs kritériumot használtuk fel a mintavétel optimalizációs algoritmus felparaméterezése céljából. Továbbá bevezetésre kerültek egyéb, a mintavételezést korlátozó, vagy éppen prioritást adó paraméterek is. A kidolgozott többváltozós optimalizáció

- a legkisebb térbeli leképezhetőséggel rendelkező talajtulajdonság térbeli változékonyságát kifejező függvényt, az ún. variogram modellt használja fel, illetve
- a legkisebb közös többszörös elvén működő kiválasztással vonja be azon talajképződést és fejlődést irányító környezeti segédinformációkat (például: domborzat, területhasználat, geológia stb.), melyek szignifikánsak a térképezendő tematikák szempontjából.

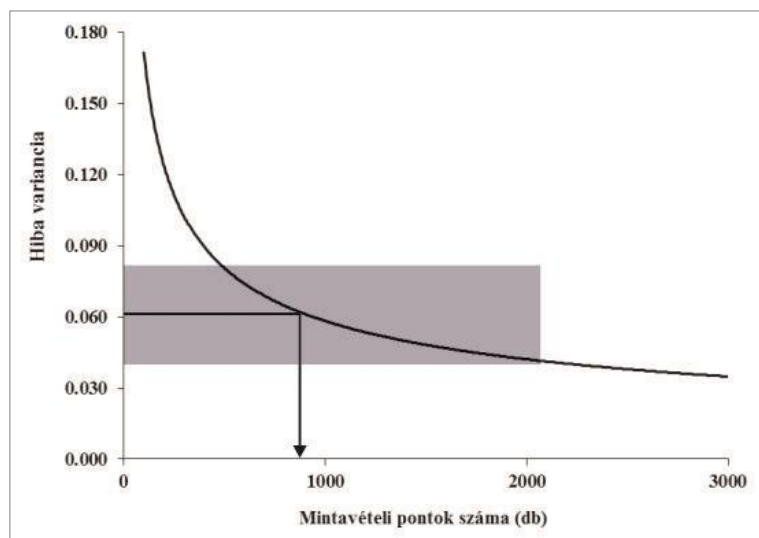
Ezen beállításokon és a megadott paramétereken keresztül a térben szimulált hűtés algoritmus garantálja, hogy a mintavételezés optimális lesz a térképezendő talajtani tematikákra vonatkozólag. A beállítások irányított, szisztematikus változtatásával előállt az ún. kalibrációs függvény, mely segítségével kiválasztható, hogy mekkora az az optimális mintaméret, melynek megvétele után gazdaságosan tovább már nem növelhető a térképek pontossága, illetve lokális megbízhatósága az adott térképezési lépték mellett. Az optimalizációs algoritmus becslést ad továbbá a lokális megbízhatóság várható értékére, mely lehet területi átlag vagy a térkép egyes pontjaira vonatkozó megbízhatóság. A becsült lokális megbízhatóság, azonban adott tematikánként külön-külön értelmezendő és értékelendő.

A mintavétel optimalizációs eljárás felparaméterezése céljából a következő környezeti segédinformációkat használtunk:

- LIDAR felmérés alapján készült Digitális Domborzat Modellből (DDM) származtatott elsődleges és másodlagos morфомetriai paraméterek,
- a nyugalmi időszakban végzett hiperspektrális felvételezés 1000-2450 nm hullámhossz tartományú felvételek reflektancia térképei, illetve a belőlük számított index állományok,
- felszínközeli éghajlati paraméterek,
- 1:25.000-es méretarányú földtani térkép,
- CORINE Land Cover 50 - felszínborítás adatbázis.

Az ismert valószínűségelméleti modellek, illetve a korábbi mintavételezésből származó mintavételi pontok segítségével kiszámítható volt a lokális megbízhatóságot kifejező hiba variancia, mely optimalizációs kritériumként szolgált a mintavétel-tervezés során. A legkisebb térbeli leképezhetőséggel rendelkező

talajtulajdonságnak a humusztartalom adódott, mely azt jelenti, hogy a humusztartalom térbeli változékonysága és eloszlása rövid távolságon belül szignifikánsan változik. Ennek hátterében a mintaterület hegyvidéki-alföldi kitettsége áll, mely a humusztartalom térbeli mozaikosságát eredményezi, nem utolsósorban a talajerózió következtében áthalmazódó talajanyag is hozzájárul a humusztartalom rapszodikus változékonyságához. Ezért ezen talajtulajdonság térbeli változékonyságát kifejező variogram modellt használtuk fel az optimalizációs algoritmusban lévén, hogy ő lesz a domináns paraméter, melyhez a mintavételezést igazítani kell. A mintavételezés során figyelembe vettünk olyan további paramétereket is, melyek a mintavételezést korlátozzák (például: a mintavételezés szempontjából hozzá nem férhető területek stb.), illetve olyan súlyozást is bevezettünk, mely prioritással látja el azon területeket, melyeknek kiemelt szerepük lehet a mintavételezésben vagy a térképezésben.



5.7. ábra: Az optimalizáció során előállított kalibrációs függvény a mintavételi pontok számának meghatározásához.

A futtatások eredményeként előállt a kalibrációs függvény (5.7 ábra), mely segítségével Hoványi és munkatársai (1977) eljárása alapján meghatározható azon mintaméret, mely felett a térképek várható pontossága, illetve lokális megbízhatósága már lényegesen nem növekszik, így több minta megvétele nem gazdaságos. Ez az érték 850-nél adódott, így a meglevő 200 mellé 650 újabb helyszín mintázása vált szükségessé.

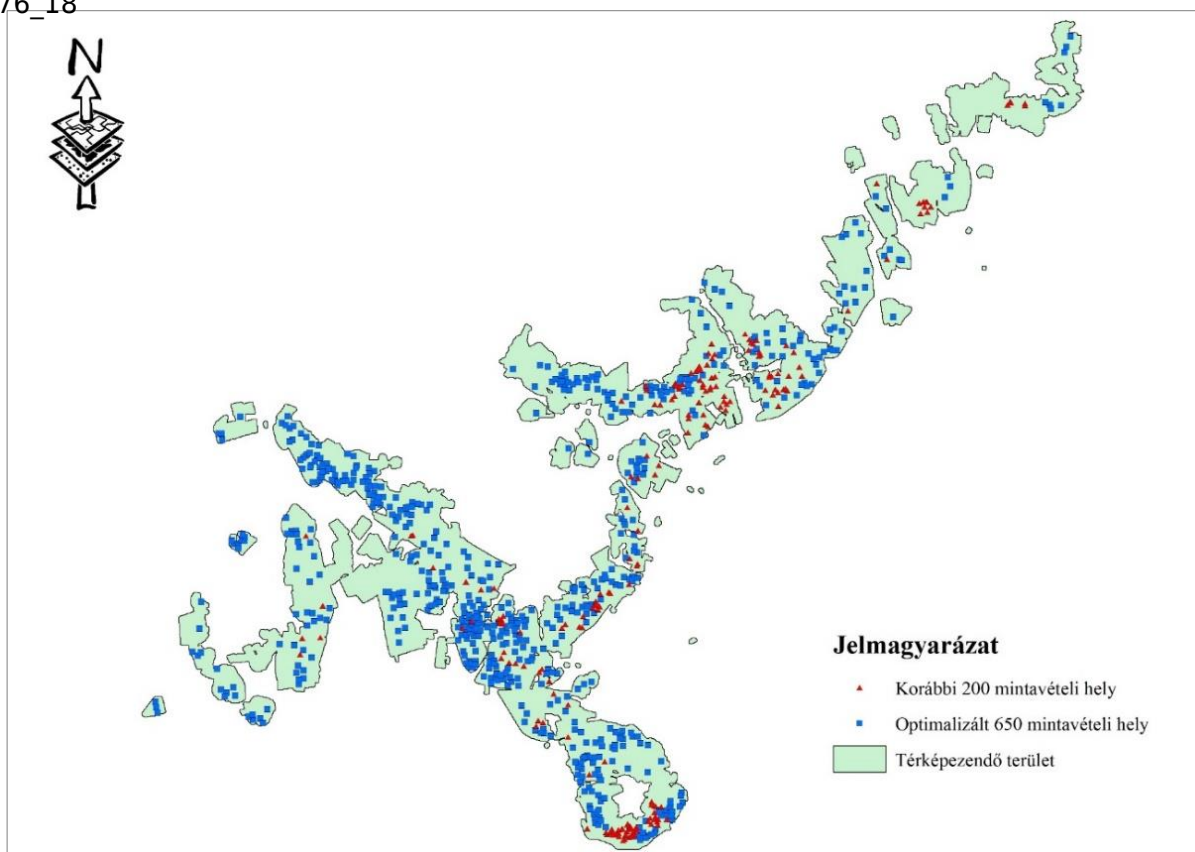
A 650 db mintavételi pont borvidéken belüli optimális földrajzi elhelyezkedését további futtatások eredményeként kaptuk meg (5.8 ábra). Az optimalizált mintavételi pontok nem érintenek olyan területeket, melyek a mintavételezés számára hozzáférhetetlenek, illetve felismerhetők a mintavételezés szempontjából prioritással rendelkező területek is, melyeknél a mintavételi pontok elhelyezkedése sűrűbb. Ugyanakkor az egész Tokaji borvidék területét lefedtük mintavételi pontokkal, illetve a térképezés során felhasznált környezeti segédinformációkra is reprezentatív a mintavételi pontok helyzete. A fentiekből következik, hogy a térképezendő talajtani tematikákra is reprezentatív a mintavételezés és a lehető legjobban szolgálja ki a felhasználandó térképezési módszereket.

A 650 kiegészítő mintázási pont megvételével a lokális megbízhatóság várható növekedését 5.1 alapján az RK becslési varianciák területi átlagainak segítségével becsültük:

$$[(\mu_2 - \mu_1) / \mu_2] * 100\% \quad (5.1)$$

ahol  $\mu_1$  illetve  $\mu_2$  az első-, illetve másodkörös mintavételi pontokból előállított RK becslési variancia területi átlagai. Az alaptermatikákra elért eredményeket az 5.1 táblázat foglalja össze. Az optimalizált mintavételi pontok bevezetésével szignifikánsan nő minden tematika várható lokális megbízhatósága. Legalacsonyabb növekedés a termőréteg vastagság esetén várható, mely azzal indokolható, hogy a félvariogram függvény röghatása – azaz a valószínűségi modell segítségével nem magyarázható belső variancia – ezen talajtulajdonság esetén volt a legmagasabb, továbbá a termőréteg vastagság terepi meghatározása relatíve nagy bizonytalansággal jár. A következő legalacsonyabb növekedés a humusztartalom esetén várható, mely azzal magyarázható, hogy ezen talajjellemző rendelkezik a legkisebb térbeli leképezhetőséggel, mely mozaikos térbeli eloszlásának tulajdonítható. A legnagyobb pontosság növekedést a mésztartalom esetén várhatjuk, mely a legnagyobb térbeli leképezhetőséggel rendelkező talajjellemzők közül. A lokális megbízhatóság várható növekedésének átlaga a térképezendő talajtani tematikákra vonatkozóan közelítőleg 55%-nak adódik, mely szignifikáns pontosság, illetve lokális megbízhatóság növekedést jelez.





5.8. ábra: Az optimalizált mintavételi pontok elhelyezkedése a Tokaji borvidék területén.

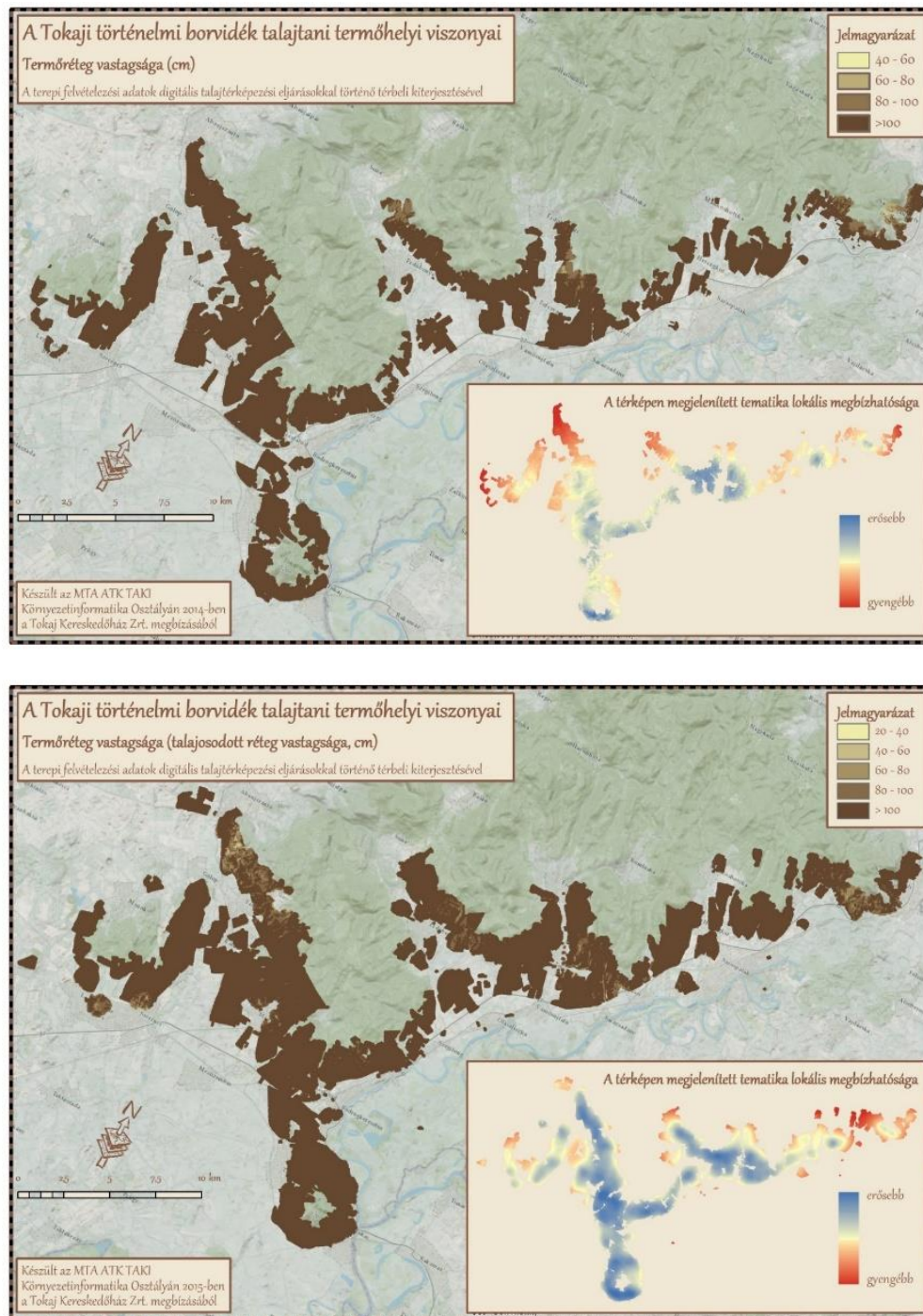
	Korábbi mintavétel		Optimalizált mintavétel		Lokális megbízhatóság várható növekedése
	200 db		200 + 650 db		
	Átlag	Szórás	Átlag	Szórás	
Humusztartalom	0,126	0,050	0,062	0,035	50,9%
pH	0,251	0,151	0,101	0,060	59,8%
Mésztartalom	0,452	0,286	0,166	0,117	63,2%
Termőréteg vastagság	1,034	0,348	0,594	0,225	42,6%
Textúra frakciók:					
- homok	138,062	61,936	62,994	38,790	54,4%
- iszap	69,614	30,248	33,327	18,808	52,2%
- agyag	37,707	16,843	17,376	10,425	54,0%

5.1 táblázat A lokális megbízhatóság várható értékeinek alakulása az alaptermatikák szerint.

#### 5.4 Másodikkörös, célspecifikus digitális talajtérképek előállítása

A másodikkörös térképek azonos környezetben, módszerekkel és környezeti segédváltozók felhasználásával készültek, mint az elsőkkörös térképek, „csupán” a referencia adatok száma nőtt meg 650-tel 200-ról 850-re.

A másodikkörös térképek mind térbeli felbontásukban, mind becslésük megbízhatóságában jelentős javulást mutatnak az első körben készült térképekhez képest köszönhetően a másodikkörös, optimalizált mintavételnek és a jelentősen megnövekedett mintaszámnak. Ennek demonstrálására az eredménytérképek jogállásának érzékeny jellege miatt példaképpen csak egyetlen térképpárt mutatok, jelesül az első- és másodikkörös, kategorizált termőrétegvastagság térképeket (5.8 ábra).



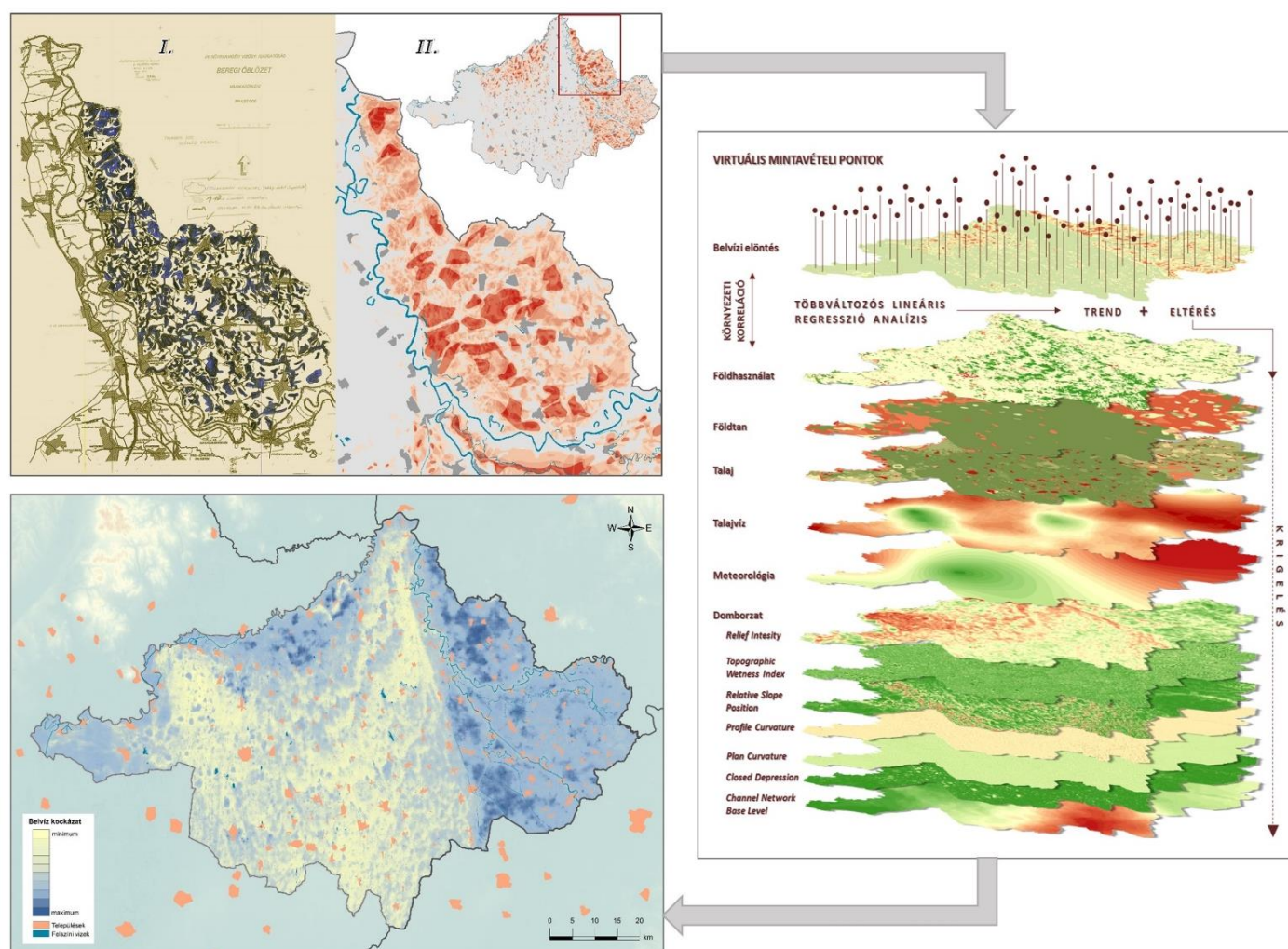
5.8. ábra: Azonos tematikájú első-, illetve másodikkörös térkép.

A mintavétel-tervezéstől a célspecifikus digitális talajtérképek szerkesztéséig terjedő munka legfőbb üzenete, hogy kialakítható egy megfelelő keretrendszer, ami felhasználható egy, akár országos, talajtérképezés kidolgozásához, amely a végtermék talajjellemző térképek felől közelítve, a térképezés során felhasználható környezeti segédinformációkra alapozva, a feladatra fordítható erőforrások figyelembevételével határozza meg, sőt optimalizálja a mintavételt. Ennek során ráadásul lehetőség van egyrészt a korábbi megfigyelési adatok (DKTIR, TIM, MARTHA, AIIR, etc.), másrészt létező (országos) térképekbe foglalt predikciós modellek figyelembevételére. Az optimális mintavételből származó felvételi adatokból ezt követően koherens környezetben készülhetnek el a térképezendő talajtulajdonságokra vonatkozó térbeli predikciók.



A digitális talajtérképezés célja a talajtakaró, vagy másképpen a földfelszíni, felszínközeli rétegek adott tulajdonság, folyamat szerinti térbeli jellemzése. Ha kicsit általánosabban tekintjük a vizsgálat tárgyát, amelyben a talaj szerepe még mindig jelentős, olyan komplex környezeti fogalmakhoz jutunk, mint például a belvíz érzékenység, illetve az ún. geogén radonpotenciál, melyek térképezése hasonló kihívást jelent, mint a szigorú értelemben vett talaj jellemzőké. Hasonlóan a 3. fejezetben tárgyalt lehatárolási problémákhoz, a talajokra vonatkozó térbeli információk jelentős szerepe miatt, a megoldásokat itt is érdemes talajtérképi oldal felől keresni. A NAIK ÖVKI-val (illetve jogelődjével a HAKI-val) szoros együttműködésben sok éven keresztül dolgoztunk síkvidéki területek belvíz érzékenységi térképeinek előállításán. Az ELTE Atomfizika Tanszékével szintén többéves közös gondolkodásunk tárgyát pedig az ún. geogén radonpotenciál térképezésének lehetséges módja képezte. A digitális talajtérképezés terén szerzett tapasztalatok és elért eredmények vezettek arra, hogy mindkét területen a DTT koncepciója alapján próbáljuk megoldani ezen környezeti modellezési feladatokat. Dolgozatom záró fejezetében a belvíz elöntési veszélyeztetettség Szabolcs-Szatmár-Bereg, illetve a geogén radonpotenciál Pest megye területén történt térképezését mutatom be.

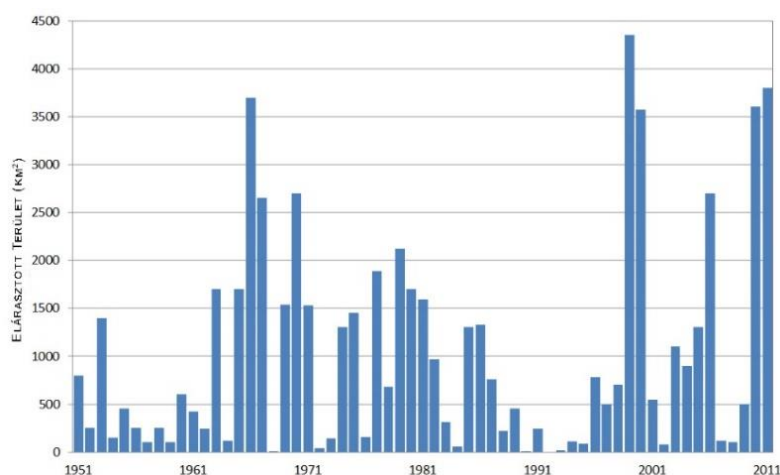
### 6.1 Belvíz elöntés veszélyeztetettség térképezése regresszió krigeléssel Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében



6.1. ábra Grafikus összefoglaló

A belvíz részben természetes, részben antropogén hatásokra kialakuló jelenség. Számos definíciója ismert (Pálfai 2001), tömören összefoglalva olyan felszíni víztöbblet, melynek kialakulása jellemzően rossz lefolyási viszonyoknak, nem megfelelő beszívargásnak, vagy a talajvíz felfakadásának tudható be (Rakonczai et al 2011). A legtöbb meghatározásban közös, hogy a belvíz időszakos síkvidéki elöntés, amelynek forrása a csapadék, illetve a felszínre törő talajvíz. Fontos kihangsúlyozni, hogy az árvízi elöntésekből származó víztöbbletre nem tekintenek a belvizek forrásaként (Koncsos & Balogh, 2008). A belvizi elöntések számos problémát okoznak az ország alföldi területein. Az utóbbi időben a szántóföldek talajának túlnedvesedésre is belvízként tekintenek, annak jelentős mezőgazdasági károkozása miatt.

Kedvezőtlen klimatikus körülmények vezetnek a jelenleg szántókként hasznosított korábbi árterületeken jelentkező káros hatásokhoz. Belvizek kialakulásakor a felszín egyes területeit hosszú időn keresztül víz borítja, mert a keletkezett vízfelesleg sem felszíni lefolyás, sem beszivárgás útján nem tud távozni. A száraz éveket követő, időnként extrém mennyiségű csapadékot hozó évek során az időszakos és állandó vízborítás az Alföld legjelentősebb agrár-környezeti problémája (Koncsos, 2011; Rakonczai et al., 2012; 6.2 ábra). A racionális földhasználat és területi tervezés megfelelő információt igényel a belvizek térbeli és időbeli eloszlásáról.



6.2. ábra A belvíz által érintett területek nagysága Magyarországon (forrás: Pálfi 2006 és VKKI)

Magyarország medencehelyzetének köszönhetően területének körülbelül egynegyede olyan mély fekvésű, sík terület, amelyről természetes úton nem folyik le a víz, így az ország mintegy 45%-át veszélyezteti belvízi elöntés. Ez a veszélyeztetettség mérték az egyik legnagyobb Európában, és globális szinten is jelentős. Szabolcs-Szatmár-Bereg megye országon belüli fekvésének és természeti adottságainak köszönhetően belvíz szempontjából meglehetősen kitett, így alkalmas mintaterületként szolgált korábbi kockázati térképezési módszertanunk DTT inspirálta továbbfejlesztéséhez.

Magyarországon a belvíz-veszélyeztetettség térképezése az 1980-as évek elején kezdődött. Országos és regionális áttekintő térképek készültek elöntési gyakoriság feljegyzések alapján (Pálfi 1994, 2003). A mezőgazdaság és vidékfejlesztés azonban mind tematikusan, mind térbelileg pontosabb és megbízhatóbb térképeket igényel. A belvíz olyan komplex környezeti folyamat, melynek jellemzői csak több tényező figyelembevételével határozhatók meg. A geoinformatika, illetve a belvíz kialakulását befolyásoló tényezőkre vonatkozó digitális, térbeli információk megfelelő környezetet biztosítanak az elvárásoknak megfelelő térképek előállítására. Számos hazai kezdeményezés történt a belvízi jelenség egyes jellemzőinek térinformatikai alapú térképezésére (Jolánkai et al. 2012; Koncsos & Kozma 2012; Mucsi & Henits 2010; Pásztor et al. 2009; Thyll & Bíró 1999; van Leeuwen et al. 2012; 2013). Ugyan a nemzetközi szakirodalom nem fordít különösebb figyelmet a belvizek tanulmányozására, akad néhány külföldi példa is, melyben térinformatikai környezetben, domborzat modellek felhasználásával térképezték jellemzően árterek elöntési folyamatait (Natale & Petaccia, 2013; Sanders, 2007).

A NAIK ÖVKI (illetve jogelődje, a HAKI) munkatársaival többváltozós környezeti korrelációra építő módszert dolgoztunk ki és alkalmaztunk az Alföld különböző területein (Komplex Belvíz-veszélyeztetettségi Mutató Térképezés KBMT; (Bozán et al. 2005, 2009; Pálfi et al., 2004; Pásztor et al., 2009). A módszer továbbfejlesztésére digitális talajtérképezési tapasztalataink inspiráltak. Többek közt Franklin (1995), Goovaerts (2000), Hengl (2009) és Moran & Bui (2002) dolgoztak ki olyan digitális környezeti térképezési eljárásokat, melyek geostatistikai és adatbányászati módszereket, illetve a meghatározó környezeti tényezőkre vonatkozó térbeli információkat használtak becsléseikhez.

Továbbfejlesztett módszerünk a digitális talajtérképezésen túl egyéb környezeti modellezésben is egyre több területen bizonyító geostatistikai módszeren, a regresszió krigelésen alapul. A RK környezeti segédváltozói esetünkben a belvizeket kialakító hat fő (domborzati, földtani, földhasználati, hidrológiai, hidrometeorológiai és talajtani) tényező volt, melyek közül a domborzatot több paraméterrel jellemeztük. A rendelkezésre álló, korábbi belvíz elöntési térképek térinformatikai feldolgozásával és integrálásával előállítottuk a belvízi elöntés relatív gyakoriságát ábrázoló megyei térképet, melyet referenciaként használtunk. Segítségével történt a modellezéshez szükséges, többszörös, virtuális mintavétel. A regresszió krigelés eredménye a belvízi elöntés gyakoriságára becslést adó, 50 méter cellaméretű térkép.

A továbbfejlesztett módszer és a korábbi, tisztán környezeti korreláción alapuló KBMT közelítésünk közötti három legjelentősebb különbség a következő:



- A KBMT során az előntési gyakoriság és az azt meghatározó faktorok közti környezeti korrelációt egy szabályos 1 km x 1 km-es rács segítségével vizsgáltuk. A térbelileg jóval részletesebb információ aggregálása ennek során jelentős torzító hatást okozott. Ennek csökkentésére virtuális, kondicionált pontmintavételhez fordultunk, melynek során 1000 véletlen pontot generáltunk a földrajzi térben. Ennek során két feltételt szabtuk: (i) a térbeli modellezésünkben használt cellaméret kétszeresében, 100 méterben szabtuk meg két szomszédos pont minimális távolságát, illetve (ii) a beépített területeket és vízfelszíneket kizártuk a mintázásból. A randomizált pontokban meghatároztuk a térképezendő és a prediktor változók értékeit, az így kapott adatsorok képezték a többváltozós lineáris regresszió bemeneti adatait. Ezt a folyamatot iteratív módon 100-szor végeztük el és a legjobban teljesítő adatsort használtuk tovább. Ennek kiválasztása a determinációs együttható révén történt, a legmagasabb  $R^2$  értékű regressziós eredmény formájában.
- A KBMT során az előntési kockázatot szimplán a többszörös lineáris regresszió egyenletének segítségével azonosítottuk, annak ellenére, hogy a determinációs együttható időnként igen alacsony értéket adott;  $R^2$  értéke jellemzően kisebb volt 0,35-nél és a különböző célterületekre vonatkozóan eltérő volt a mértéke. A dolgozat korábbi fejezeteiben tárgyalt és a digitális talajtérképezésben igen jó eredményekre vezető regresszió krigelés alkalmas eszköznek mutatkozott a KBMT nem kellően kielégítő eredményeinek javítására. A regresszió krigelés alapvetően azt a koncepciót testesíti meg, mely szerint önmagában sem a környezeti korreláció, sem a geostatistikai interpoláció nem képes számot adni a térképezendő változó teljes térbeli variabilitásáról, azaz elegendően pontos térképi végterméket produkálni. A két, egymást kiegészítő térbeli származtatási módszer együttes használata segít az egyenkénti viszonylagos gyengeségek javításában.
- A KBMT során a belvízképződést befolyásoló főbb tényezőket egy-egy (jellemzően szintetikus) változó képviselte. Következésképpen például a felszín igen komplex szerepét nem eléggé kifinomultan tudtuk csak figyelembe venni az egyetlen, mégoly informatív paraméter révén. A regresszió krigelés alkalmazásával azonban magától értetődően adódott a segédváltozók számának bővítése. A korábban egyedülként használt relief energia mellett további, releváns, morfológiai tényezők alkalmazása vált lehetővé a predikció során: profil és sík görbület, relatív lejtő pozíció, topográfiai nedvesség index, zárt depresszió, illetve lefolyási hálózat alapszint.

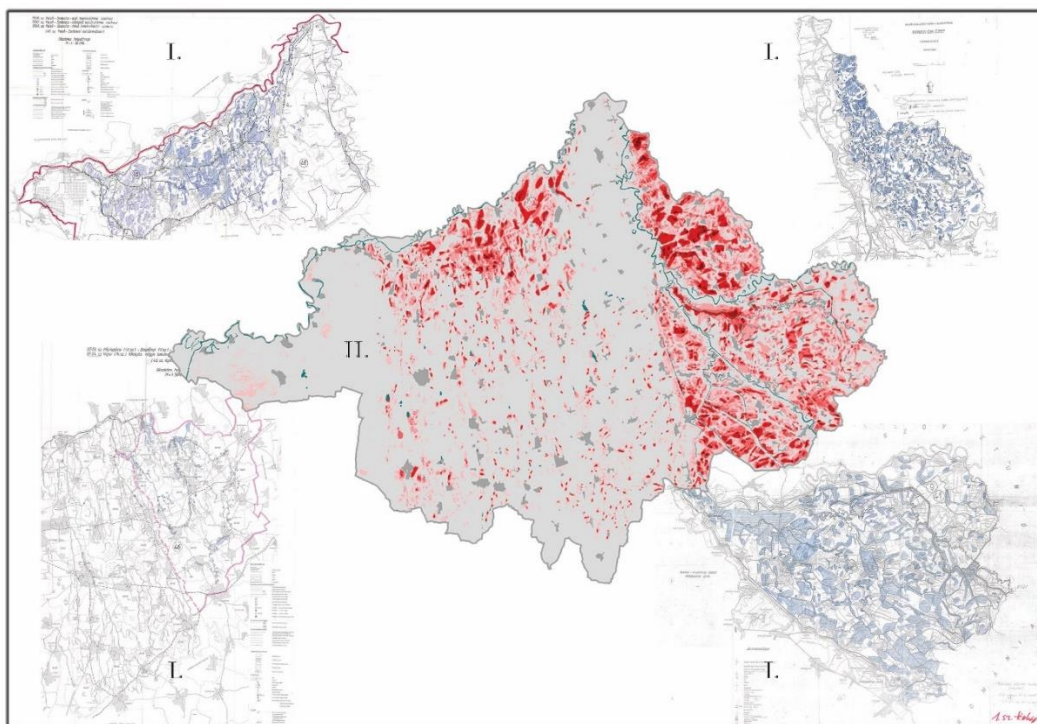
A további öt hatótényező reprezentációja szabolcs-szatmár-beregi térképezésünk során nem változott a korábbiakhoz képest<sup>16</sup>.

- A talajok belvíz-érzékenységi mutatójának előállításához és térbeli megjelenítése a talajok vízgazdálkodási tulajdonságán (telített talajállapotra vonatkozó vízvezetőképesség) alapszik, melyhez a tájtermesztési térképlapok integrálása utáni Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszert használtuk fel, amit korreláltattunk a Várallyay-féle vízgazdálkodási kategóriarendszerrel (Pásztor et al. 2006c).
- A földtani tényező a legfelső vízzárónak tekinthető réteg felszíntől mért mélysége és vastagsága alapján szakértői becsléssel megállapított numerikus érték (Pásztor et al. 2006c).
- A talajvíztényező a talajvízszint mértékadó terepalatti mélysége, azaz a vizsgált ötven éves időszakból kiválasztott tíz év legmagasabb vízállásának átlaga. Mivel a talajvíz adatok kutakra vonatkoztak, a térképezéshez szüksége volt ezek térbeli kiterjesztésére, amit a domborzat figyelembevételével kokrigeléssel végeztünk (Chung & Rogers, 2011).
- A földhasználati tényező a CLC50 adatbázis (Büttner et al., 2004) földhasználati kategóriáihoz rendelt számérték, az adott földhasználatnak a belvízképződést befolyásoló hatása szerint becsülve (Pásztor et al. 2006c).
- A hidrometeorológiai tényező szerepét az ún. humiditási index töltötte be, ami a csapadék és a potenciális evapotranspiráció havonta eltérően súlyozott évi összegeinek hányadosából vont négyzetgyök (Pásztor et al. 2006c).

A referenciaként használt előntési gyakoriság térkép előállításához a területileg illetékes Vízügyi Igazgatóságok által gondozott archív, időszaki előntési térképeket dolgoztuk fel az 1962. és 2010. közti időszakból rendelkezésre álló 12 évre vonatkozólag (6.3 ábra). A felhasznált források többsége különböző kiterjedésű, léptékű és pontosságú, kézzel rajzolt papír térkép volt. A későbbi időszakokra ezt kiegészítette némi, távérzékelésből származó előfeldolgozott információ is. A papír térképek digitalizálása és az összes digitális állomány egyesítése eredményeképpen született meg a referenciaként használt alaptérkép. Az előntésekre vonatkozó bizonytalanság mindkét fajta alapanyagra jellemző. A kézzel rajzoltak pontatlansága döntően a szerkesztési folyamatukból adódik. Egyrészt az alaptérképek igen nagy változatosságot mutatnak, másrészt a vízzel borított területek

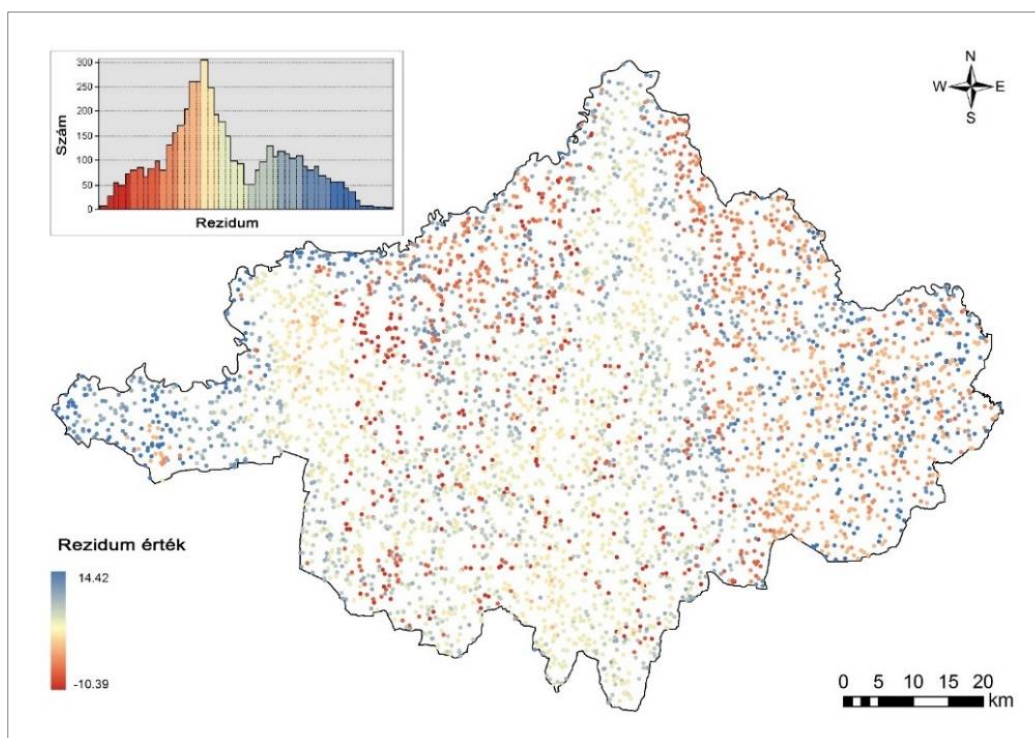
<sup>16</sup> Az Alföld, majd a teljes ország síkvidéki területeinek térképezése céljából a módszert még tovább fejlesztettük, melynek során többek között ezen hatótényezők reprezentációja is jelentősen bővült (Bozán et al. 2017, 2018).

lehátárolása nem szigorú szabályok mentén történt. Mindennek köszönhetően a felvázolt térképi foltokra nem tekinthetünk terepi valóságként, csupán annak változó térbeli pontosságú közelítéseként. Mindemellett a távérzékelte adatok sem vehetők abszolút referenciaként, mivel egyidőpontú megfigyelésekből származnak, így módon csupán egy egyszeri, nem feltétlenül reprezentatív, leképezését adják a folyamatnak.

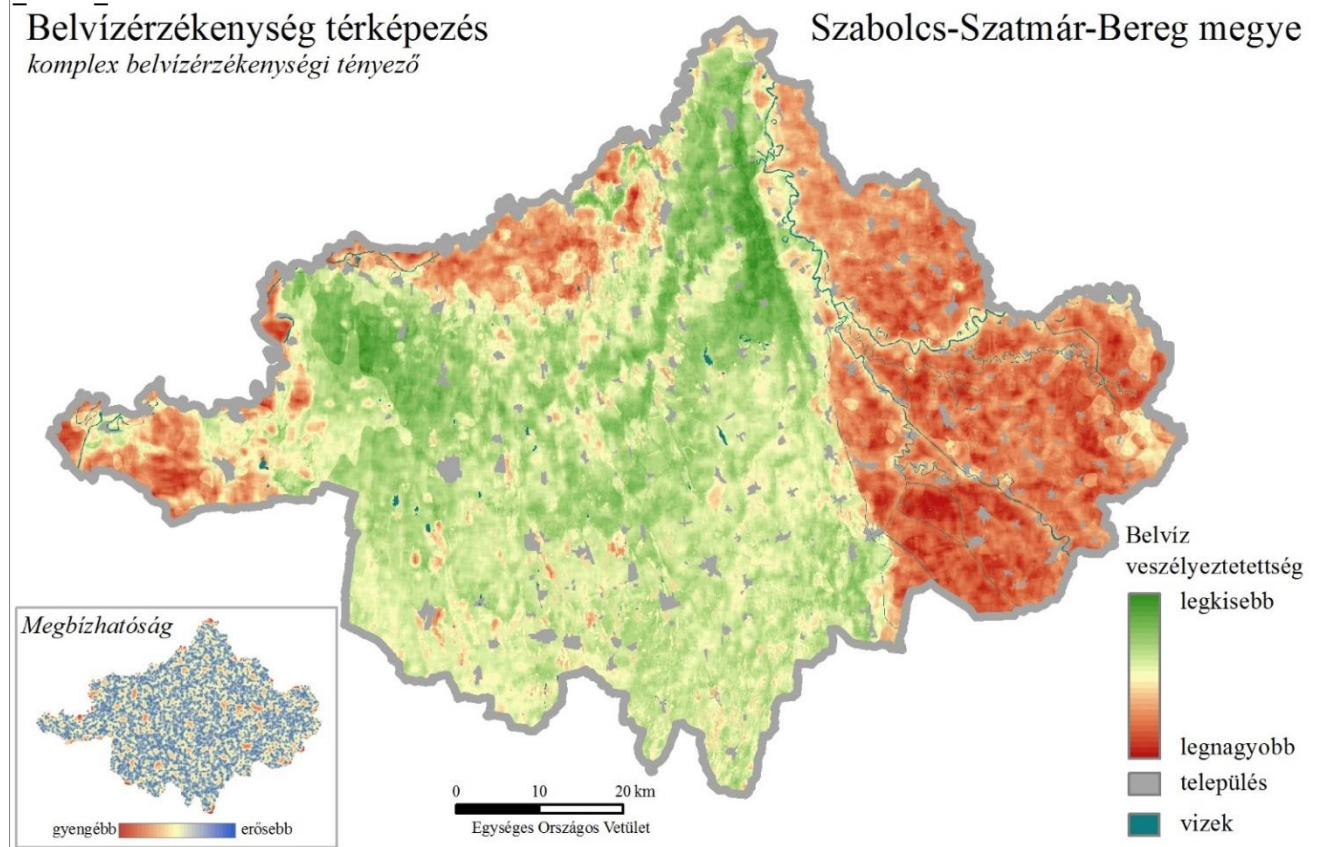


6.3. ábra Archiv elöntési térképek (I), illetve az aggregált, relatív elöntési gyakoriság térkép (II).

A kiválasztott környezeti tényezők együttes hatását többváltozós lineáris regresszióval (TLR) modelleztük. Ezt megelőzően főkomponens transzformációt végeztünk rajtuk a multikollinearitás csökkentése érdekében. Az együttesen 99%-os variabilitást magyarázó főkomponenseket használtuk magyarázó változóként a TLR-ben. Az analízisek során mindvégig stepwise módszert és 5%-os szignifikancia szintet alkalmaztunk. A 100 futtatás során a determinációs együttható 0,15 és 0,25 közt váltakozott. A legmagasabb értékkel jellemzett többszörös lineáris regresszió eredményével folytattuk a térbeli modellezést.



6.4. ábra A többváltozós lineáris regresszió rezidumainak hisztogramja és térbeli eloszlása.



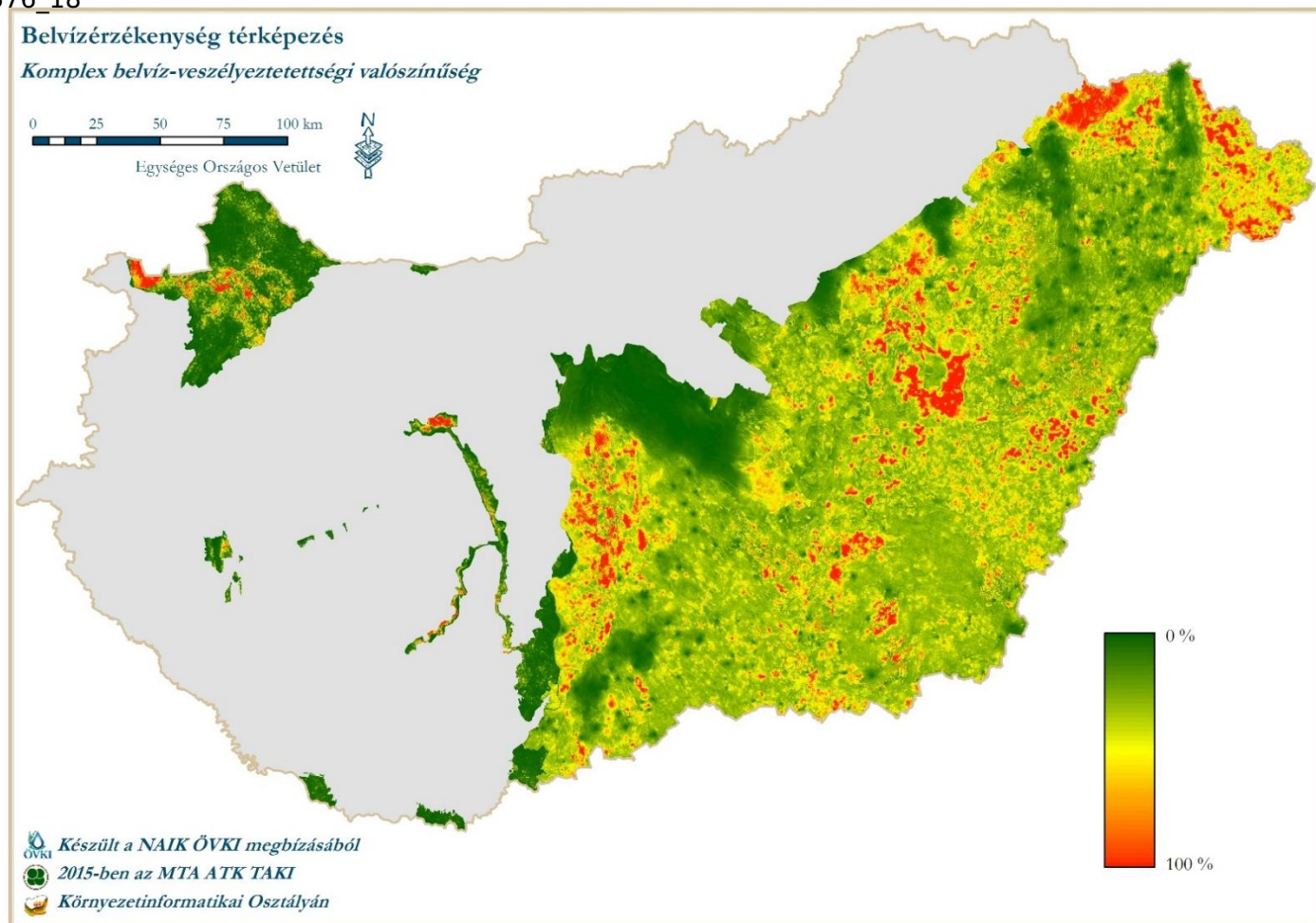
6.5. ábra Szabolcs-Szatmár-Bereg megye belvíz veszélyeztetettségi térképe kiegészítve a megbízhatóságára vonatkozó becsléssel.

A TLR eredménye egyrészt csak részben magyarázza a térbeli variációt, másrészt a környezeti segédváltozók TLR-rel való figyelembevétele eliminálja a mintavételi pontokban megfigyelhető trendet. A TLR rezidumainak (6.4 ábra) krigelése szolgáltatja a becslés sztochasztikus komponensét. Ehhez exponenciális szemivariogram modellt használtunk a következő paraméterekkel: hatástávolság = 10,623 méter, tető = 24,5 and röghatás = 17,2. Az előntési térkép végleges becslését a TLR-ből származó determinisztikus és a krigelésből származó sztochasztikus tag szuperpozíciója szolgáltatta (6.5 ábra).

Mivel a munka során referenciaként alkalmazott archív belvízi előntési adatsor nem elég hosszútávra visszatekintő (főként nem a hazai vízügyi gyakorlatban használatos százéves bázishoz képest), ezért az eredménytérkép előntési gyakoriság pontos becslése helyett inkább csak a veszélyeztetettséget regionalizálja egy intervallum változó formájában.

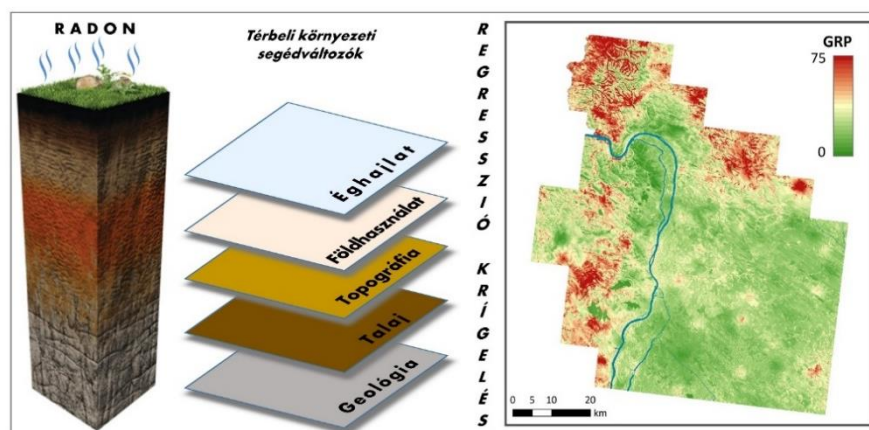
A térkép azonban így is jól alkalmazható a területi tervezés számára, mivel értékes térbeli információval szolgál számos földhasználati, területrendezési tevékenység és az ahhoz elengedhetetlen döntéselőkészítés során. A bemutatott módszer több ponton is továbbfejleszthetőnek gondoltuk: a mintavételi technika pontosításával, a segédváltozók körének bővítésével, földmegfigyelési adatok bevonásával és egyes adatbányászati módszerek alkalmazása révén. Ezen tervek közül számos megvalósult az Alföld, majd 2015. folyamán a teljes ország síkvidéki területeinek térképezése során, ami az Országos Vízügyi Főigazgatóság megbízása mentén szintén a NAIK ÖVKI és az MTA ATK TAKI együttműködésében valósult meg (6.6 ábra; Bozán et al. 2017, 2018).





6.6. ábra Az országos belvíz érzékenység térképezés eredménye.

## 6.2 Geogén radonpotenciál becslés regresszió krigeléssel Pest megyében



6.7. ábra Grafikus összefoglaló

A radon radioaktív nemesgáz, mobilis és viszonylag nagy felezési idejű (3,8 nap) elem, ezért képes elvándorolni keletkezése helyéről és felhalmozódhat beltérek levegőjében, ahol növeli a tüdőrák kialakulásának valószínűségét. A természetes eredetű ionizáló sugárzásból származó dózis több mint 50%-áért felelős. A radonpotenciál megmutatja, hogy egy adott területen található épületben milyen valószínűséggel alakulhat ki határértéket meghaladó radonkoncentráció. Becslésének egyik módja a geogén eredetű radonpotenciál meghatározása, mivel a beltéri radonkoncentráció fő forrása a talaj. A talajszemcsékben keletkező radon előbb a talajszemcsék közötti pórustérbe onnan pedig a felszínre, illetve az épületekbe kerül. A talajban diffúzió és konvekció hatására mozog, amelyet talajfizikai és meteorológiai jellemzők befolyásolnak. Az ún. radonpotenciál térképek a beltéri levegőben történő radon felhalmozódás csökkentése felé tett operatív intézkedések megalapozására használhatók a lakosság életminőségének javítása érdekében.

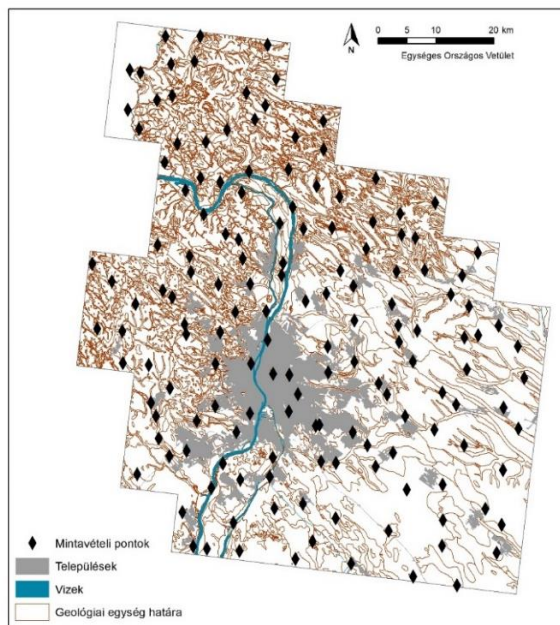
A geogén radonpotenciál (GRP) térképezésére korábban több közelítést is alkalmaztak. Ezek a módszerek vagy mérhető paraméterekre (pl. permeabilitás, a talaj levegő radon koncentrációja,  $^{226}\text{Ra}$  koncentráció) vagy



geológiai, kőzettani alapokra épültek (Bossey 2013). A Neznal et al. (2004) által kifejlesztett, korábban Radon Index-nek nevezett, az Európai Radon Térkép által is használt, nemzetközileg elfogadott módszer a GRP számszerűsítésére a talajgázbeli radon koncentráció és a talajok gáz permeabilitásának terepi mérésén alapul. Az ezen a folytonos változón alapuló közelítést Csehországban (Neznal et al. 2004) és Magyarországon (Szabó et al. 2014) egyaránt alkalmazták. A geológia szemléletű GRP térképezés általában többváltozós, de kategória típusú tényezőkkel dolgozik, amelyeket szakértői alapon értékel a GRP-ben betöltött szerepük alapján (Friedmann 2005). Számos tanulmány mutatott rá a talaj fizikai jellemzőinek fontosságára a talajgáz radon koncentrációjának alakulásában. A nedvesség tartalom és szemcseméret radon emanációra<sup>17</sup> kifejtett hatását alaposan vizsgálták Schumann and Gundersen (1996) és Sakoda et al. (2010). Faheem and Matiullah (2008) laboratóriumi körülmények közt vizsgálták talajok radon exhalációjának<sup>18</sup> nedvességtől való függését. Az exhalációs ráta a nedvesség növekedésével együtt nőtt egy határig, majd a további nedvesség növekedés után csökkenni kezdett. Schweikani et al. (1995) azt találták, hogy a nedvesség tartalom növekedése csökkenti a radon diffúzióját, mivel a pórus tér, amelyben a radon is diffundálna, vízzel telítődik. Mindezen folyamatok szoros kapcsolatban vannak a talajok (hidro-)fizikai tulajdonságaival.

Amennyiben a GRP és a talajfizikai jellemzők közti összefüggések talaj-radon kapcsolatok formájában formalizálhatók, akkor a megfelelő talajtulajdonságokra vonatkozó talajtérképek jól hasznosíthatók a radonpotenciál térképezésben. Kemszi és munkatársai (2001) egy tapasztalati osztályozást alkalmaztak erre a célra. Ielsch és munkatársai (2002) kihangsúlyozták, hogy milyen komplikáltak a talajtani tényezők és a radon exhaláció közti kapcsolatok, ami a sztochasztikus modellezés irányába mutat. Sun és munkatársai (2004) azt találták, hogy a talajból történő radon exhalációt és a talaj radon koncentrációt könnyebben befolyásolják a talajjellemzők és meglehetősen tág határok közt változnak. Winkler és munkatársai (2001) a talaj <sup>222</sup>Rn koncentrációjának terepi léptékű tér- és időbeli variabilitását vizsgálták kis mintaterületeken. Szignifikáns különbségeket találtak a különböző talaj állapotok esetén. Oliver és Khayrat (2001) vizsgálataikat a radon talajban előforduló térbeli változásaira fókuszálták. Kihangsúlyozták, hogy a variabilitás megfelelő ismerete elengedhetetlen a térbeli becsléshez szükséges mintavétel-tervezéshez. Buttafuoco és munkatársai (2007) geostatistikai módszereket teszteltek a radon koncentráció térképezésére (hagyományos krigelés, lognormal krigelés, hagyományos multi-Gaussi krigelés, hagyományos indikátor kokrigelés), melyek közül a multi-Gaussi krigelés bizonyult a legpontosabbnak. Az alkalmazott módszereik nem használtak környezeti segédváltozókat a becslésekhez.

Megfelelő pedo-radon-transzfer függvények ismerete híján a talajtulajdonságokat és az azokra rendelkezésre álló térképeket leghatékonyabban környezeti segédváltozók formájában érdemes hasznosítani a geogén radon jellemzőinek térbeli becslésére.



6.8. ábra A mintavételi helyszínek és a geológiai formációk elhelyezkedése.

Az itt bemutatott és 2016-ban publikált (Pásztor et al. 2016b) térképezés során egy korábbi vizsgálat (Szabó et al., 2014) szűrt adatait használtuk. Az eredeti mérés sorozat tartalmazott két sűrítést (egy-egy településre

<sup>17</sup> Radon emanáció: A radon gáz kiszökése a szilárd fázisból a pórus térbe.

<sup>18</sup> Radon exhaláció: A radon gáz kiszökése a szilárd fázisból a felszínre.

koncentrálnak), amelyek problémássá tették volna a RK alkalmazását. Mindkét település esetén csak két reprezentatív mintát tartottunk meg. Kihagytunk továbbá két országhatáron kívüli mérési helyszínt, mivel a felhasználni tervezett segédváltozók csak országhatáron belül voltak elérhetők. Végül 145 mintavételi pontot használtunk referenciaként. Az ezekre vonatkozó GRP értékek terepi talajgáz radon aktivitás és talaj gáz permeabilitás méréseken alapulnak (egy ismétlésben elvégezve). A mintavételi helyszínek kijelölése rétegzett, feltételes, véletlen mintavételi stratégia alapján történt. Az európai épületen belüli (indoor) radon térképezésnél nemzetközileg használt, 10×10 km-es rács (Dubois et al., 2010; Tollefsen et al., 2011) képviselte a mintavétel rétegeit (6.8 ábra). A helyszínek kijelölésének feltételeit a geológiai formációk és a települések elhelyezkedése jelentette. Átlagosan három mérési helyet jelöltünk ki minden cellában, amellyel a három domináns geológiai formációt céloztuk meg, figyelembe véve a beépített területek elhelyezkedését. A településekre, illetve azok közelébe eső formációkat részesítettük előnyben, azok jelentősen magasabb beépítési potenciálja miatt. A mintavételi helyszínek átlagos legközelebbi szomszéd távolsága 4,15 km.

A térképezéshez használt regresszió krigelési modellhez a geogén radonpotenciállal generikus kapcsolatban levő, talajokra, a földtani közegre, a domborzatra, a klímára és a földhasználatra vonatkozó, térbelileg teljes fedettséget nyújtó segédadatokat használtunk (6.1 táblázat). A talajokat a DKTIR fizikai tulajdonság térkép képviselte. Magyarország Földtani Térképe (FDT100; Gyalog & Síkhegyi 2005) alapján vettük figyelembe a geológiai viszonyokat az eredeti térkép litológia és fácies alapján elkülönülő képződménycsoportjainak FAO nevezéktant követő kőzettípusokba sorolásával (Bakacsi et al. 2014; FAO 2006). A mintaterületen 15 kategória fordul elő. Az EU-DEM digitális domborzatmodell és morfológiai deriváltjai (általános görbület, kitettség, lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság, lejtés, magasság, napi anizotrópikus melegítés, SAGA nedvesség index, topográfiai nedvesség index, topográfiai pozíció index, többszörös felbontású hegyhát index) reprezentálták a domborzatot. Az éghajlati adottságokat négy releváns tulajdonság képviselte: évi középhőmérséklet, éves átlagos csapadék, tényleges éves párolgás és éves átlagos evapotranspiráció. A fedvények a MISH (Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis; Szentimrey et al., 2011, Szentimrey and Bihari, 2015) módszerrel készültek. A felszínborítást a Corine Land Cover 1:50.000 (CLC50; Büttner et al. 2004) összevont kategóriáinak (szántó, ültetvény, gye, erdő, vizenyős terület, víz, fedett felszín) segítségével vettük figyelembe.

GRP tényező	Környezeti segédváltozó	Típus	Kategória értékek	Szignifikancia	+/- korreláció
földtan	Magyarország Földtani Térképe (FDT100) litológia és fácies alapján elkülönülő képződménycsoportjainak FAO nevezéktant követő kőzettípusokba sorolása	kategória	savanyú magmás kőzet	> 0.05	
			intermedier magmás kőzet	> 0.05	
			piroklasztit	0.0429*	-
			savanyú metamorf kőzet	> 0.05	
			törmelékes üledékes kőzet	> 0.05	
			karbonátos, szerves üledékes kőzet	> 0.05	
			antropogén/technológiai üledék	> 0.05	
			kolluviális üledék	> 0.05	
			eolikus üledék	> 0.05	
			hidroeolikus üledék	> 0.05	
			folyóvízi üledék	0.0158*	-
			tavi üledék	> 0.05	
			tengeri üledék	> 0.05	
			szerves üledék	> 0.05	
			reziduum üledék	> 0.05	
földhasználat / felszínborítás	felszínborítást a Corine Land Cover 1:50.000 (CLC50) összevont kategóriái	kategória	szántó	0.0084**	+
			szőlő, gyümölcsös	> 0.05	
			gyep	0.0109*	+
			ritka vegetáció	> 0.05	
			vizenyős terület	> 0.05	
			erdő	0.0003***	+

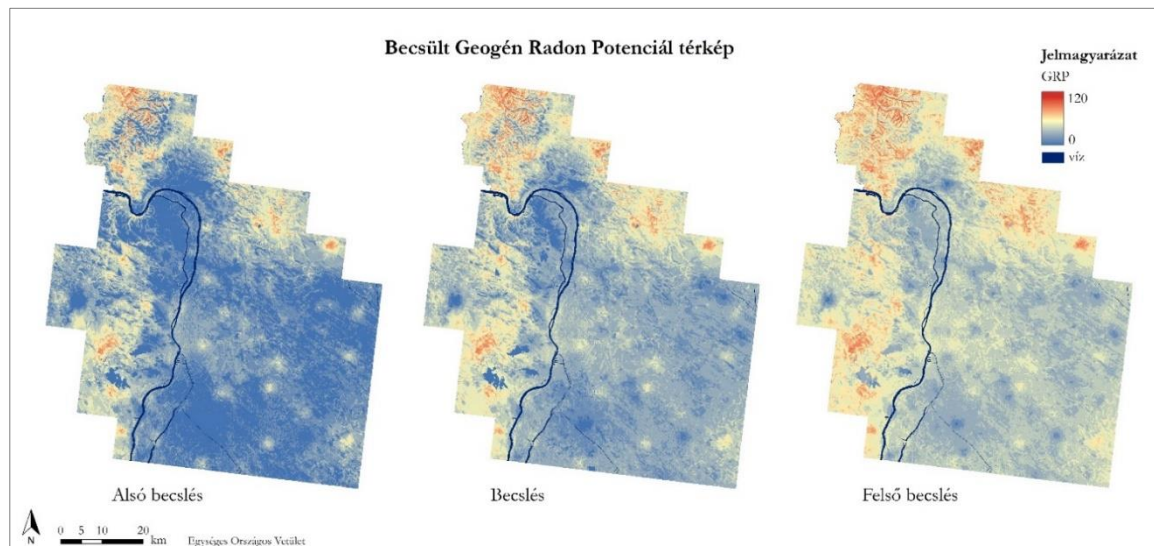
			nyílt víz	> 0.05	
			beépített terület	0.0002***	+
talaj	DKTIR talajfizikai tulajdonságok	kategória	Jó víztartó és vízvezetőképességű talajok	> 0.05	
			Közepes vízvezetőképességű, a vizet erősen tartó talajok	> 0.05	
			Gyenge vízvezetőképességű, a vizet erősen tartó, erősebben repedező talajok	> 0.05	
			Nagy vízvezetőképességű, még jó víztartó talajok	> 0.05	
			Igen nagy vízvezetőképességű, gyengén víztartó talajok	> 0.05	
			Jó vízvezetőképességű, a vizet igen erősen tartó talajok	> 0.05	
			köves, kavicsos talajok	0.0049**	-
			tőzeges talajok	> 0.05	
klíma	évi átlagos csapadék	folytonos		0.0167*	+
	évi átlag hőmérséklet			> 0.05	
	évi átlagos párolgás			0.0112*	+
	évi átlagos evapotranspiráció			0.0129*	+
topográfia	kitettség	folytonos		< 0.0001***	+
	napi anizotrópikus melegítés			< 0.0001***	-
	magasság			> 0.05	
	általános görbület			0.0046**	-
	többszörös felbontású hegyhát index			0.0129*	+
	SAGA nedvesség index			< 0.0500	
	lejtés			0.0028**	-
	topográfiai pozíció index			0.0046**	-
	topográfiai nedvesség index			0.0148*	-
	lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság			< 0.0001***	-

6.1. táblázat A potenciálisan felhasználható segédváltozók. A „szignifikancia” oszlop stepwise regresszió változónkénti szignifikancia szintjeit mutatja. A legalább egy csillaggal jelölt paraméterek kerültek a térképezésünkbe. Három csillag 0,1%-os, két csillag 1%-os, egy csillag 5%-os szignifikancia szintet jelöl. Az utolsó oszlop a változó és a GRP közti korreláció negatív, illetve pozitív voltára utal.

A környezeti segédváltozókat a modellezéshez megfelelő formátumra konvertáltuk. A raszteres változókat (DEM deriváltak, klimatikus térképek) egységes, 100 m-es felbontásra transzformáltuk, majd 0–255 közötti pixelértékekre skáláztuk. A vektoros adatokat (talaj, földtan, felszínborítás) a raszteres adatok 100 m-es rácsához illeszkedően raszterizáltuk, majd indikátor változókká alakítottuk. A numerikus segédváltozókon főkomponens analízist végeztünk a változók számának csökkentése és a multikollinearitás elkerülése érdekében. A többváltozós lineáris regresszió magyarázó változói az együttesen a variancia 99%-át magyarázó főkomponensek és az indikátor változók voltak, a függő változó pedig a GRP természetes logaritmus. A stepwise regresszió során 5%-os szignifikancia szintet alkalmaztunk a domináns tényezők kiválasztására. A determinációs együttható 41%-os volt, a model pedig szignifikáns, ami a függő és független változók közti valódi funkcionális korrelációra utal. A magyarázott részen felül megmaradó reziduumokat krigelés révén történő interpolálásához két komponensből álló nested szemivariogram modellt illesztettünk, melyek paraméterei:

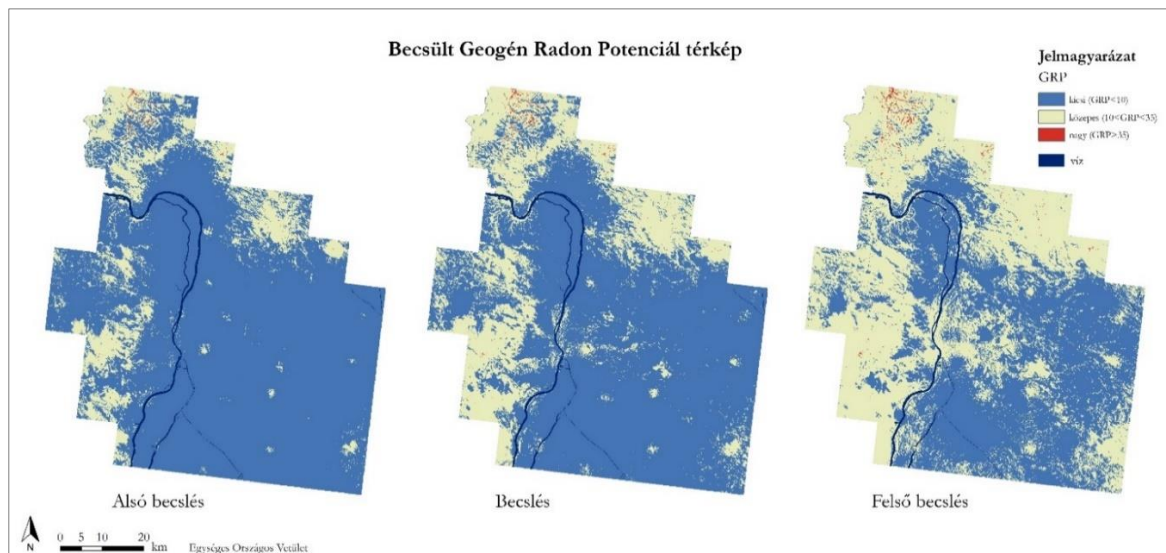
- (i) szférikus, izotróp, részleges tető = 0,1836, röghatás = 0, hatástávolság = 3.000 m;
- (ii) szférikus, izotróp, részleges tető = 0,185, hatástávolság = 24.000 m.

A regresszió krigeles pontosságát mind globálisan, mind lokálisan becsültük. A térkép globális becselő hatékonyságát keresztvalidációval vizsgáltuk. Ennek során a regresszió krigelesét 144-szer<sup>19</sup> végeztük el, minden alkalommal egy-egy referencia adatot kihagyva, és annak értékét a becsülttel összehasonlítva. A becslés „jóóságát” az átlagos hibával, a hibák abszolút értékének az átlagával és az átlagos négyzetgyök hibával jellemeztük. A GRP térkép térbeli megbízhatóságának jellemzésére a becsült GRP értékekre vonatkozó 90%-os predikciós intervallumot származtattuk (6.9 ábra). A térképezendő változó normalitását feltételezve ehhez a krigeles szórás 1,64-szeresének a lokálisan becsült értékből való levonásával, illetve értékéhez való hozzáadásával jutunk (Heuvelink, 2014).



6.9. ábra A geogén radonpotenciálra vonatkozó, regresszió krigelesével előállított térbeli becslés a 90%-os predikciós intervallummal megadott alsó és felső becsléssel kiegészítve.

Térképezésünk eredménye egy folytonos skálán ábrázolja a geogén radonpotenciált. Neznal (2004) a GRP 10, illetve 35 értékeinél határt húzva definiálta a kis, közepes és nagy veszélyeztetettséget. Ezt a kategorizálást elvégezve mindhárom térképen (a becslés, valamint a hozzá tartozó 90%-os intervallum alsó és felső értéke) a három veszélyeztetettségi kategória térbeli kiterjedésére is megadható a 90%-os predikciós intervallum (6.10 ábra; 6.2 táblázat).



6.10. ábra A geogén radonpotenciálra vonatkozó, regresszió krigelesével előállított térbeli becslés a 90%-os predikciós intervallummal megadott alsó és felső becsléssel kiegészítve.

A keresztvalidáció eredménye szerint az átlagos hiba -1,47, ami azt jelenti, hogy térképezésünk általában alulbecsli GRP értékét. Az átlagos négyzetgyök hiba 7,5, ami a nagy veszélyeztetettség határértékének 21%-a.

A stepwise regresszió segítségével értékelni tudtuk a felhasznált környezeti segédváltozók jelentőségét. A fontosnak bizonyult változókat csillaggal jelöltük a 6.1 táblázatban, melynek ötödik oszlopa mutatja a prediktor változók szignifikanciáját. A legalább egycsillagos változókat léptette be a többváltozós lineáris regresszió. Három

<sup>19</sup> A felhasznált referencia minták száma – 1.



csőlag 99,9%-os, két csőlag 99%-os, egy csőlag 95%-os szignifikancia szintet jelöl. Külön jelöltük a GRP és a változó közti korreláció pozitív/negatív voltát. A környezeti segédváltozók felhasználására vonatkozó feltevésünket igen jól alátámasztja, hogy mind az öt környezeti tényező képviseltette magát a végső regressziós modellben, és ezzel hozzájárult a GRP térkép megszerkesztéséhez.

GRP veszélyeztetettségi kategória	érintett terület [ha]		
	alsó becslés	becsült érték	felső becslés
kis	265.974	383.087	444.529
közepes	82.626	143.677	260.151
nagy	719	1.110	1.749

6.2. táblázat A GRP veszélyeztetettségi kategóriák becsült térbeli kiterjedése a 90%-os predikciós intervallum megadásával

A geogén radonpotenciál egy komplex környezeti jelenség, viselkedését számos környezeti tényező befolyásolja. A térképezésére bevezetett regresszió krigeles nagy előnye, hogy ezeket a tényezőket együttesen figyelembe tudja venni, amennyiben térbelileg teljes fedettséget nyújtó, megbízható adatok állnak róluk rendelkezésre. A felhasznált paraméterek számának növekedése a céltérkép predikciós képességét is növelheti. Erre pedig jó lehetőséget biztosít a környezeti téradatinfrastruktúrák jelenleg megfigyelhető jelentős bővülése.

A fő cél ugyan egy új módszeren alapuló térkép előállítása volt, de a melléktermékeként igen hasznos eredményt szolgáltatott arra vonatkozóan, hogy az egyes környezeti tényezők miképpen és milyen mértékben vannak hatással a geogénradon potenciálra. Érdekes módon csupán két közettani kategória mutatott szignifikáns szerepet (folyami üledék és piroklasztit), de ez nem feltétlenül jelenti a földtani viszonyok jelentéktelenségét. Némely geológiai információ közvetetten jelenik meg bizonyos topográfiai változókba rejtetten. Például a lefolyás hálózati alapszinttől való függőleges távolság a lejtők mentén történő anyagmozgással van kapcsolatban, amelynek köszönhetően a helyben keletkező és az áthalmozott anyag keveredik. Általánosabban is a domb- és hegyvidéki területek erózióját és sík területeken történő depozíciót részben a domborzati viszonyok irányítják, miközben jelentős hatással vannak bizonyos földtani és talajtani jellemzőkre, mint például a talajtakaró vastagsága, azaz az alapkőzet mélysége, amely meghatározó a geogén radonpotenciálban. A talajok emanációs koefficiensére pedig a napi anizotrópikus melegítés lehet hatással a különböző kitétségű lejtőkön. A földhasználat szintén befolyásolja a radon veszélyeztetettséget, mivel a talajok permeabilitását nem csak természetes fizikai tulajdonságai, hanem azok - jellemzően antropogén hatásokra bekövetkező - változásai is befolyásolják.

A RK-en alapuló GRP térképezésben további lehetőséget nyitnának a légi gamma mérésekből származó képi információk. A gamma aktivitás a talaj felső 30 centiméteres rétegének urán és tórium tartalmának következménye. Az uránium koncentráció pedig a GRP alakulásában meghatározó talaj levegő radon koncentráció jelentős faktora.

Térképünk térbeli felbontása jelentősen jobb, mint a Pest megye területére készült korábbi radon térképé (Szabó et al. 2014). A földtani információk mellett felhasznált térbeli adatoknak köszönhetően a pontossága is felülmúlja a korábbiét, amely geológiai formációkhoz rendelte az azokon végzett mérések mediánját. A két térkép azonban összhangban van egymással. A térképezett terület nagy részét kis és közepes GRP értékek jellemzik. Nagy veszélyeztetettségű területek csak lokálisan fordulnak elő a dombvidékeken. Ez az ott előforduló nagyobb urán és rádium tartalmú kőzeteknek tulajdonítható.

Összeségében a térkép hasznos eszközként szolgálhat a területi tervezésben, a radon cselekvési tervben és döntéshozásban. Mindezekén túl az európai radon térképezési stratégiához is fontos hozzájárulásként tekinthető.

## 7 Összefoglalás, új tudományos eredmények

Dolgozatomban célspecifikus térbeli predikciók kidolgozását mutattam be feladatorientált, térképi alapú talajinformációk előállítására, illetve az azok eredményeként született tematikus céltérképeket, lehetőség szerint kiegészítve a térbeli megbízhatóságukra vonatkozó becsléssel. Mindezek során alapvető szempont volt a felhasználói igényeket célzottan és optimálisan kielégítő talajtérképek és térbeli talajinformációk előállítása. A bemutatott célspecifikus térbeli predikciók a korszerű, nemzetközi trendeknek megfelelően talajtani és környezeti adatok, klasszikus talajtani tudás, térinformatikai, térstatistikai és adatbányászati módszerek koherens egységén alapulnak. A dolgozatban tárgyalt munkák a legutóbbi kb. egy évtizedben elért eredményeket reprezentálják. Összeállításuk a kérdésfeltevések és az azokra adott válaszok egymásra hatását és folyamatos fejlődését szándékozott leképezni. A 7.1. táblázatban fejezetekre bontva sorolom fel a dolgozatban bemutatott predikciókat és azok eredményeit.

	Célspecifikus térbeli predikciók	Eredmény térképek
2. fejezet	A Kreybig térképezésből származó archív térképi alapú, illetve szöveges formában rendelkezésre álló talajtani adatok térinformatikai feldolgozása révén létrejött Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer többszintű rembulációját (megújítását), illetve információ-tartalmának kiaknázását célul kitűző digitális talajtérképezési munkálatok.	Mintaterületek elsődleges és másodlagos digitális, illetve a terepen történt harmadlagos reambulációjának eredményei alapján szerkesztett, a talajtakaró egyes tulajdonságainak aktuális állapotát tükröző, a Kreybig alapokon nyugvó, de egyben megújított, talajfolt térképek, a relatív területi megbízhatóság feltüntetésével.
	A Kreybig felvételi adatokon nyugvó, de annak térképezési elvein túlmutató, célspecifikus, digitális térbeli talajtani információ előállítás a DKTIR információ-tartalmának mélyebb kiaknázásával.	(i) Mintaterületi háromdimenziós talajtextúra adatbázisok. (ii) Biofizikai kritériumokkal jellemzett természeti hátrányokkal érintett területek előfordulásának országos becslése. (iii) Specifikus élőhely osztályok országos előfordulásának becslése. (iv) Dezaggregált kategória térképek. (v) Országos talajtextúra térkép a DKTIR és a TIM adatbázisok integrálásával.
3. fejezet	Természeti hátrányokkal érintett, illetve kiváló és jó termőhelyi adottságokkal rendelkező területek országos lehatárolására feladatorientált, digitális talajtérképezési módszerek kidolgozása.	(i) Archív adatok célspecifikus feldolgozásán, illetve (ii) célspecifikusan előállított digitális talajtérképeken alapuló országos becslések biofizikai kritériumokkal jellemzett, természeti hátrányokkal érintett területek előfordulására. Termőhelyi minőségre, talaj produktivitásra vonatkozó országos becslések.
4. fejezet	A hazai talaj téradat infrastruktúra megújításának céljával a hazai talaj téradat (térbeli talajinformációk, talajtérképek) előállítás és szolgáltatás kereteinek újragondolása digitális talajtérképezési módszerek felhasználásával, részben a GlobalSoilMap specifikációi szerint, részben azok kisebb-nagyobb mértékű változtatásával (mélység közök, felbontás, tulajdonság definíció). Az egyes célváltozók modellezése különböző térbeli kiterjesztési eljárások sorával (módszerek, referencia és prediktor adatok változtatásával).	(i) Zala megye szervesanyag térképe. (ii) Országos fedettségű, tematikus talajtulajdonság térképek a teljes pedonra, illetve a talaj egyes rétegeire vonatkozóan (genetikus típus, termőréteg vastagság, textúra, szemcse frakciók, szabadföldi vízkapacitás, szervesanyag tartalom, CaCO <sub>3</sub> tartalom, pH).
	A vízerózió mértékének térbeli becslése az USLE és a PESERA modellek eredményének kombinálásával a DOsoReMI.hu keretében előállított célspecifikus digitális talajtérképek alapján. Szélerózió veszélyeztetettség digitális modellezése térképi alapú talajtani, meteorológiai és földhasználati adatok felhasználásával. Egyes talajfunkciók térbeli becslése digitális talajtulajdonság térképek és a 4M növény szimulációs modell integrálásával.	(i) K-, illetve talajkéreg tényezőre és erodálhatósági faktorra vonatkozó országos térképek. (ii) Országos vízerózió-veszélyeztetettség térkép. (iii) Országos szélerózió-veszélyeztetettség térkép. (iv) Agrárökoszisztémák termőképességére vonatkozó, országos térbeli becslések. (v) A talajok egyes szűrő, tisztító funkcióira vonatkozó országos térképek.
5. fejezet	A mintavétel-tervezéstől a célspecifikus digitális talajtérképek előállításáig tartó térképezési-felvételezési munkafolyamat kialakítása a Tokaji történelmi borvidék termőhelyi potenciáljának feltárása céljából.	A szőlő termőhelyi kataszteri minősítéshez szükséges talajtani termőhelyi alkalmasságot meghatározó, illetve speciális termelési céltérképek kiegészítve a megbízhatóságukra vonatkozó becsléssel az elsődleges, illetve az optimalizált mintavételi terv alapján.
6. fejezet	Földfelszíni, felszínközeli rétegek komplex környezeti folyamatainak térbeli modellezése a digitális talajtérképezés koncepciója alapján.	(i) Szabolcs-Szatmár-Bereg megye belvíz veszélyeztetettségi térképe kiegészítve a megbízhatóságára vonatkozó becsléssel. (ii) Pest megye geogén radonpotenciál térképe kiegészítve a megbízhatóságára vonatkozó becsléssel.

7.1. táblázat A dolgozatban bemutatásra kerülő predikciók és azok eredményeinek összefoglalása fejezetenként.

Mindezek alapján a következő pontokban szedve foglalom össze az elért és a dolgozatban tárgyalt új tudományos eredményeket:

1. Kidolgoztam a Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer elsődleges és másodlagos digitális reambulációjának módszertanát, továbbá egy becslési módszert a megújított térképek térbeli megbízhatóságára vonatkozóan, amely a terepi reambuláció eredményeit is figyelembe veszi. Mindezek alapján a talajtakaró egyes tulajdonságainak aktuális állapotát tükröző, a Kreybig alapokon nyugvó, de egyben megújított, talajfolt térképeket szerkesztettem mintaterületek elsődleges és másodlagos digitális, illetve a terepen történt harmadlagos reambulációjának eredményei alapján, a relatív területi megbízhatóság feltüntetésével.
2. Módszereket dolgoztam ki a Kreybig felvételi adatokon nyugvó, de annak térképezési elvein túlmutató, célspecifikus, digitális térbeli talajtani információk előállítására a DKTIR információtartalmának mélyebb kiaknázásával.
  - a. Kategória típusú pontadatok indikátor krigelésen alapuló térbeli kiterjesztésével valószínűségi becsléseket dolgoztam ki természeti hátrányokkal érintett területek lehatárolására, illetve háromdimenziós talaj-hidrofizikai talajadatbázisok kialakítása céljából.
  - b. Archiv, kategória típusú térképekben rejlő talaj-táj modellek osztályozó fákon és környezeti segédváltozókon alapuló formalizálásával térbelileg nagyobb felbontású, dezaggregált térképeket állítottam elő (Duna-Tisza-köze genetikus talajtérkép, országos talajbonitációs térkép, PESERA modell input térképek).
  - c. A talajtani homológia elvén alapuló módszert dolgoztam ki a DKTIR pontadatbázis és a Talajinformációs és Monitoring Rendszer integrálására egymást kiegészítő jellemzőik kiaknázásával, melynek eredményeképpen született meg Magyarország első, országos, USDA osztályok szerinti talajtextúra térképe.
3. Módszereket dolgoztam ki országos, térbeli lehatárolást igénylő problémák elvégzésére, melynek során speciális, diagnosztikus talajjellemzőkre vonatkozó, nagy térbeli felbontású, unikális, országos térképek készültek. Az adott jellemzőkről korábban nem születtek térképi alapú elemzések, főképp nem a modellezésben használt egyhektáros felbontásban az ország teljes területére vonatkozóan.
4. A Digitális, Optimalizált, Általános értelemben vett Talajtérképek és Térbeli Információk kezdeményezés keretében vezetéssel megújítottuk a hazai talaj téradatak előállításának és publikálásának kereteit. A térképezési munkák szerves része a térbeli modellezési módszerek pontosságának, megbízhatóságának lokális és globális becslése, az előállított térképek térbeli bizonytalanságának értékelése, illetve ezekre alapozva a térbeli predikciók javítása és optimalizálása.
5. A Digitális, Optimalizált, Általános értelemben vett Talajtérképek és Térbeli Információk kezdeményezés keretében elsődleges talajtulajdonságokat regionalizáló, megyei, illetve országos fedettségű, tematikus térképek készültek a talaj egyes rétegeire vonatkozóan, a predikciók globális és lokális térbeli megbízhatóságára végzett becslésekkel kiegészítve.
6. A talajok magasabb szintű, általánosabb jellemzőinek térképezésére elsődleges talajtulajdonság térképeken és folyamat modelleken alapuló módszerek kidolgozását vezettem, melyek során országos víz-, illetve szélerezési veszélyeztetettség térképek, továbbá megyei és országos térbeli becslések készültek a talajok egyes funkcióira vonatkozóan a digitális talajtérképezés és a 4M növény szimulációs modell integrációja révén.
7. A mintavétel-tervezéstől a célspecifikus digitális talajtérképek szerkesztéséig terjedő keretrendszert alakítottam ki, ami felhasználható egy, akár országos, talajtérképezés kidolgozásához, amely a végtermék talajjellemző térképek felől közelítve, a térképezés során felhasználható környezeti segédinformációkra alapozva, a feladatra fordítható erőforrások figyelembevételével határozza meg, sőt optimalizálja a mintavételt.
8. A digitális talajtérképezés koncepciója alapján környezeti térképezési munkákat vezettem, amelyek során digitális belvíz veszélyeztetettség, illetve geogén radon potenciál térképek születtek a térbeli megbízhatóságukra vonatkozó becslésekkel.

Köszönöm mindazon családtagok, barátok, ismerősök és munkatársak támogatását, akik bízottak, tartották bennem az erőt és a hitet, hogy vállalom ezt a megmérettetést, felkészüljek rá, és hogy elkészüljön a jelen dolgozat.

Az MTA TAKI GIS Labor, Környezetinformatikai, majd Talajtérképezési és Környezetinformatikai Osztály képviselte és képviseli jelenleg is azt a biztos hátteret, amelyre építkezni lehetett.

Akikkel együtt tettük le az alapokat, dolgoztunk/dolgozunk a Kreybig archívum feldolgozásán és az azt követő egyéb digitális talajtérképezési munkákban: Szabó József, Matus Judit, Zágoni Balázs, Bakacsi Zsófia, Krammer Zita, Csökli Gabriella.

Akik tudásukkal, ötleteikkel, kérdéseikkel, munkájukkal a későbbiekben csatlakoztak: László Péter, Koós Sándor, Flachner Zsuzsa<sup>†</sup>, Dombos Miklós, Vass-Meyndt Szilvia, Varga Katalin, Gedeon Csongor.

Akik szakmai irányítása rám testálódott és akikkel egyrészt együtt dolgoztunk fokozatuk megszerzésén, másrészt ennek keretében egyben a TAKI talajtérképezési hagyományainak megújításán: Laborczi Annamária, Takács Katalin, Szatmári Gábor, Farkas-Iványi Kinga.

Akik a dolgozat technikai összeállításában segítettek, illetve a dolgozat megírására fordított energiáim miatt a rájuk figyelés hiányát voltak kénytelenek tolerálni: Árvai Mátyás, Kovács Zsófia, Mészáros János, Szűcs-Vásárhelyi Nóra, Tóth Márton.

Az MTA TAKI jelenlegi és korábbi munkatársai közül többen is jelentősen hatottak arra, hogy térbeliségen alapuló gondolkodásom a dolgozatban megmutatkozó irányba forduljon: Csillag Ferenc<sup>†</sup>, Farkas Csilla, Kabos Sándor, Kertész Miklós, Kummert Ágnes, Németh Tamás, Rajkai Kálmán, Tóth Tibor és Várallyay György.

A dolgozat és az abban megjelenített munkák hátterében a térbeli talajinformációk után érdeklődő számos és sokszínű, potenciális és valódi felhasználó sokrétű igényei munkálkodnak. A válaszok kidolgozásában többekkel, hosszabb-rövidebb időre társakká váltunk. Közülük szeretném kiemelni Bozán Csaba, Centeri Csaba, Fodor Nándor, Horváth Ákos, Illés Gábor, Körösparti János, Négyesi Gábor, Somodi Imelda, Szabó Katalin, Tóth Brigitta, Tóth Gergely és Waltner István nevét.



- [1.] ABONYI, J. (2006): Adatbányászat a hatékonyság eszköze. Computerbooks, Budapest.
- [2.] ÁCS, F., GYÖNGYÖSI, A. Z., BREUER, H., HORVÁTH, Á., MONA, T. & RAJKAI, K. (2014): Sensitivity of WRF-simulated planetary boundary layer height to land cover and soil changes, *Meteorologische Zeitschrift*, 23 (3), pp. 279–293.
- [3.] ÁDÁM, J., BÁNYAI, L., BORZA, T., BUSICS, GY., KENYERES, A., KRAUTER, A. & TAKÁCS, B. (szerk.) (2004): Műholdas helymeghatározás. Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- [4.] ADAMCHUK, V. I. & VISCARRA ROSSEL, R. A. (2010): Development of on-the-go proximal soil sensor systems. [In: Proximal Soil Sensing. (Eds.: VISCARRA ROSSEL, R. A., MCBRATNEY, A. B. & MINASNY, B.)] Springer, Dordrecht, pp. 15–28.
- [5.] ADHIKARI, K., HARTEMINK, A. E., MINASNY, B., KHEIR, R. B., GREVE, M. B. & GREVE, M. H. (2014): Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark, *PLoS ONE*, 9 (8): e105519.
- [6.] ADHIKARI, K., KHEIR, R. B., GREVE, M. B., BØCHER, P. K., MALONE, B. P., MINASNY, B., MCBRATNEY, A. B. & GREVE, M. H. (2013): High-resolution 3-D mapping of soil texture in Denmark, *Soil Science Society of America Journal*, 77 (3), pp. 860–876.
- [7.] AHMAD, S., KALRA, A. & STEPHEN, H. (2010): Estimating soil moisture using remote sensing data: a machine learning approach, *Advances in Water Resources*, 33 (1), pp. 69–80.
- [8.] ALEXANDER, L., ZHANG, X., PETERSON, T. C., CAESAR, J., GLEASON, B., KLEIN TANK, A. M. G., HAYLOCK, M., COLLINS, D., TREWIN, B., RAHIMZADEH, F., TAGIPOUR, A., RUPA KUMAR, K., REVADEKAR, J., GRIFFITHS, G., VINCENT, L., STEPHENSON, D. B., BURN, J., AGUILAR, E., BURNET, M., TAYLOR, M., NEW, M., ZHAI, P., RUSTICUCCI, M. & VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. (2006): Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111 (D05), pp. 109.
- [9.] ALLEN, R. D. (1977): Evaluation of Aerial Photography as a Technique for Estimating Citrus Fruit Yield. U.S. Department of Agriculture Staff Report, Statistical Reporting Service.
- [10.] AMINI, M., ABBASPOUR, K. C., KHADEMI, H., FATHIANPOUR, N., AFYUNI, M. & SCHULIN, R. (2005): Neural network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran, *European Journal of Soil Science*, 56 (4), pp. 551–559.
- [11.] ÁNGYÁN, J., DORGAI, L., HALÁSZ, T., JANOWSZKY, J., MAKOVÉNYI, F., ÓNODI, G., PODMANICZKY, L., SZENCI, G., SZEPESI, A. & VEÖREÖS, G. (1998): Az országos területrendezési terv agrárvonatkozásainak megalapozása. Agrárgazdasági Kutató és Informatikai Intézet, Budapest.
- [12.] ARMBRUST, D. V. & BILBRO Jr., J. D. (1997): Relating plant canopy characteristics to soil transport capacity by wind, *Agronomy Journal*, 89 (2), pp. 157–162.
- [13.] ARROUAYS, D., GRUNDY, M. G., HARTEMINK, A. E., HEMPEL, J. W., HEUVELINK, G. B. M., HONG, S. Y., LAGACHERIE, P., LELYK, G., MCBRATNEY, A. B., MCKENZIE, N. J., MENDONÇA-SANTOS, M. d. L., MINASNY, B., MONTANARELLA, L., ODEH, I. O. A., SANCHEZ, P. A., THOMPSON, J. A. & ZHANG, G.-L. (2014a): GlobalSoilMap: towards a fine-resolution global grid of soil properties, *Advances in Agronomy*, 125, pp. 93–134.
- [14.] ARROUAYS, D., LAGACHERIE, P. & HARTEMINK, A. E. (2017a): Digital soil mapping across the globe, *Geoderma Regional*, 9, pp. 1–4.
- [15.] ARROUAYS, D., LEENAARS, J. G. B., RICHER-DE-FORGES, A. C., ADHIKARI, K., BALLABIO, C., GREVE, M., GRUNDY, M., GUERRERO, E., HEMPEL, J., HENGL, T., HEUVELINK, G., BATJES, N., CARVALHO, E., HARTEMINK, A., HEWITT, A., HONG, S.-Y., KRASILNIKOV, P., LAGACHERIE, P., LELYK, G., LIBOHOVA, Z., LILLY, A., MCBRATNEY, A., MCKENZIE, N., VASQUEZ, G. M., MULDER, V. L., MINASNY, B., MONTANARELLA, L., ODEH, I., PADARIAN, J., POGGIO, L., ROUDIER, P., SABY, N., SAVIN, I., SEARLE, R., SOLBOVOY, V., THOMPSON, J., SMITH, S., SULAEMAN, Y., VINTILA, R., ROSSEL, R. V., WILSON, P., ZHANG, G.-L., SWERTS, M., OORTS, K., KARKLINS, A., FENG, L., NAVARRO, A. R. I., LEVIN, A., LAKTIONOVA, T., DELL'ACQUA, M., SUVANANNG, N., RUAM, W., PRASAD, J., PATIL, N., HUSNJAK, S., PÁSZTOR, L., OKX, J., HALLET, S., KEAY, C., FAREWELL, T., LILJA, H., JUILLERET, J., MARX, S., TAKATA, Y., KAZUYUKI, Y., MANSUY, N., PANAGOS, P., LIEDEKERKE, M., SKALSKY, R., SOBOCKA, J., KOBZA, J., EFTEKHARI, K., ALAVIPANAH, S. K., MOUSSADEK, R., BADRAOUI, M., DA SILVA, M., PATERSON, G., DA CONCEICO GONCALVES, M., THEOCHAROPOULOS, S., YEMEFACK, M., TEDOU, S., VRSCAJ, B., GROB, U., KOZAK, J., BORUVKA, L., DOBOS, E., TABOADA, M., MORETTI, L. & RODRIGUEZ, D. (2017b): Soil legacy data rescue via GlobalSoilMap and other international and national initiatives, *GeoResJ*, 14, pp. 1–19.
- [16.] ARROUAYS, D., MCKENZIE, N., HEMPEL, J., RICHER DE FORGES, A. & MCBRATNEY, A. B. (Eds.) (2014b): GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System, CRC Press, London.
- [17.] ASTER GDEM (2000): Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, Global Digital Elevation Model.
- [18.] BABOS, I., HORVÁTHNÉ PROSZT, S., JÁRÓ, Z., KIRÁLY, L., SZODFRIDT, I. & TÓTH, B. (1966): Erdészeti termőhelyfeltárás és térképezés. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- [19.] BAGHERI BODAGHABADI, M., MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A., SALEHI, M. H., MOHAMMADI, J., ESFANDIARPOOR BORUJENI, I., TOOMANIAN, N. & GANDOMKAR, A. (2015): Digital soil mapping using artificial neural networks and terrain-related attributes, *Pedosphere*, 25 (4), pp. 580–591.
- [20.] BAKACSI, ZS., KUTI, L., PÁSZTOR, L., VATAI, J., SZABÓ, J. & MÜLLER, T. (2010): Method for the compilation of a stratified and harmonized soil physical database using legacy and up-to-date data sources, *Agrokémia és Talajtan*, 59 (1), pp. 39–46.
- [21.] BAKACSI, ZS., LABORCZI, A., SZABÓ, J., TAKÁCS, K. & PÁSZTOR, L. (2014): Proposed correlation between the legend of the 1:100,000 scale geological map and the FAO code system for soil parent material, *Agrokémia és Talajtan*, 63 (2), pp. 189–202.

- [22.] BAKACSI, ZS., PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., KUTI, L. & LABORCZI, A. (2012a): 3D textúra adatbázis létrehozása indikátor-krigeléssel, talajtani és agrogeológiai adatbázisok egységesítésével, *Agrárinformatika*, 3 (1), pp. 46-51.
- [23.] BAKACSI, ZS., PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., ÓRI, N., KARUCZKA, A. & KRAMMER, Z. (2012b): A Kreybig-féle felmérésből származó talajtani adatok összehasonlító módszertani elemzése, *Agrokémia és Talajtan*, 61 (1), pp. 29-40.
- [24.] BÁRDOSSY, GY. (2006): Geologic and geostatistical evaluation of spatial variability, *Acta Geologica Hungarica*, 49 (2), pp. 89-101.
- [25.] BARNES, E. M. & BAKER, M. G. (2000): Multispectral data for mapping soil texture: possibilities and limitations, *Applied Engineering in Agriculture*, 16 (6), pp. 731-741.
- [26.] BÄRRING, L., JÖNSSON, P., MATTSSON, J. O. & ÅHMAN, R. (2003): Wind erosion on arable land in Scania, Sweden and the relation to the wind climate – a review, *Catena*, 52 (3-4), pp. 173-190.
- [27.] BARTHOLD, F. K., WIESMEIER, M., BREUER, L., FREDE, H. G., WU, J. & BLANK, F. B. (2013): Land use and climate control the spatial distribution of soil types in the grasslands of Inner Mongolia, *Journal of Arid Environments*, 88, pp. 194-205.
- [28.] BASHFELD, A., & KEIM, A. (2011): Continent-wide DEM creation for the European Union. 34th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Sydney, Australia.
- [29.] BAŠIĆ, F. (2013): *The Soils of Croatia*, Springer, Dordrecht.
- [30.] BAUMGARDNER, M. F. (2011): Soil databases. [In: *Handbook of Soil Sciences: Resource Management and Environmental Impacts*, (Eds.: HUANG, P. M., LI, Y. and SUMNER, M. E.)] CRC Press, Boca Raton, pp. 21-35.
- [31.] BAUMGARDNER, M. F., SILVA, L. F., BIEHL, L. L. & STONER, E. R. (1986): Reflectance properties of soils, [In: *Advances in Agronomy* (Ed.: BRADY, N. C.)] Academic Press, London, 38, pp. 2-44.
- [32.] BAXTER, S. J. & OLIVER, M. A. (2005): The spatial prediction of soil mineral N and potentially available N using elevation, *Geoderma*, 128 (3-4), pp. 325-339.
- [33.] BECKETT, P. H. T. & WEBSTER, R. (1971): Soil variability: a review, *Soils and Fertilizers*, 34, pp. 1-15.
- [34.] BEHRENS, T., FÖRSTER, H., SCHOLTEN, T., STEINRÜCKEN, U., SPIES, E. D. & GOLDSCHMITT, M. (2005): Digital soil mapping using artificial neural networks, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168 (1), pp. 21-33.
- [35.] BEHRENS, T. & SCHOLTEN, T. (2006): Chapter 25 A Comparison of Data-Mining Techniques in Predictive Soil Mapping, [In: *Digital Soil Mapping. An Introductory Perspective. Developments in Soil Science*. (EDS.: LAGACHERIE, P., MCBRATNEY, A. B. & VOLTZ, M.)], Elsevier, Amsterdam, 31, pp. 353-364.
- [36.] BEHRENS, T., ZHU, A.-X., SCHMIDT, K. & SCHOLTEN, T. (2010): Multi-scale digital terrain analysis and feature selection for DSM, *Geoderma*, 155 (3-4), pp. 175-185.
- [37.] BEN-DOR, E. (2002): Quantitative remote sensing of soil properties, *Advances in Agronomy*, 75, pp. 173-244.
- [38.] BEN-DOR, E., CHABRILLAT, S., DEMATTÉ, J. A. M., TAYLOR, G. R., HILL, J., WHITING, M. L. & SOMMER, S. (2009): Using imaging spectroscopy to study soil properties, *Remote Sensing of Environment*, 113 (1), S38-S55.
- [39.] BEN-DOR, E., IRONS, J. R. & EPEMA, G. F. (1999): Soil reflectance. [In: *Manual of Remote Sensing: Remote Sensing for Earth Science*. (Eds.: RENCZ, A. N., RYERSON, R. A.)], pp. 111-187.
- [40.] BEN-DOR, E., PATKIN, K., BANIN, A. & KARNIELI, A. (2002): Mapping of several soil properties using DAIS-7915 hyperspectral scanner data-a case study over clayey soils in Israel, *International Journal of Remote Sensing*, 23 (6), pp. 1043-1062.
- [41.] BIERKENS, M. F. P. & BURROUGH, P. A. (1993): The indicator approach to categorical soil data; part 2: Application to mapping and land use suitability analysis, *Journal of Soil Science*, 44 (2), pp. 369-381.
- [42.] BIRÓ, M., BÖLÖNI, J. & MOLNÁR, ZS. (2018): Use of long-term data to evaluate loss and endangerment status of Natura 2000 habitats and effects of protected areas, *Conservation Biology*, 32 (3), pp. 660-671.
- [43.] BLUM, W. E. H. (2005): Functions of soil for society and the environment, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 4 (3), pp. 75-79.
- [44.] BOCK, M., BÖHNER, J., CONRAD, O., KÖTHE, R. & RINGELER, A. (2007): Chapter XV. Methods for creating functional soil databases and applying digital soil mapping with SAGA GIS. [In: *Status and Prospect of Soil Information in South-Eastern Europe: Soil Databases, Projects and Applications*. (EDS.: HENGL, T., PANAGOS, P., JONES, A. & TOTH, G.)] JRC Scientific and Technical Reports, EUR 22646 EN, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 149-162.
- [45.] BODON, F. & BUZA, K. (2014): Bevezetés az adatbányászathoz jegyzet ([http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0064\\_55\\_adatbanyaszat/index.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0064_55_adatbanyaszat/index.html))
- [46.] BOETTINGER, J. L. (2010): Environmental Covariates for Digital Soil Mapping in the Western USA. [In: *Digital Soil Mapping*. (Eds.: BOETTINGER, J. L., HOWELL, D. W., MOORE, A. C., HARTEMINK, A. E., KIENAST-BROWN, S.)], Springer, Dordrecht, 2, pp. 17-27.
- [47.] BOETTINGER, J. L., HOWELL, D. W., MOORE, A. C., HARTEMINK, A. E. & KIENAST-BROWN S. (Eds.) (2010): *Digital Soil Mapping: Bridging Research, Environmental Application, and Operation*, Elsevier. Springer.
- [48.] BORRELLI, P., BALLABIO, C., PANAGOS, P. & MONTANARELLA, L. (2014): Wind Erosion Susceptibility of European Soils, *Geoderma*, 232-234, pp. 471-478.
- [49.] BORRELLI, P., LUGATO, E., MONTANARELLA, L. & PANAGOS, P. (2017): A new assessment of soil loss due to wind erosion in European agricultural soils using a quantitative spatially distributed modelling approach, *Land Degradation and Development*, 28 (1), pp. 335-344.
- [50.] BORRELLI, P., PANAGOS, P. & MONTANARELLA, L. (2015): New Insights into the Geography and Modelling of Wind Erosion in the European Agricultural Land. Application of a Spatially Explicit Indicator of Land Susceptibility to Wind Erosion, *Sustainability*, 7 (7), pp. 8823-8836.

- [51.] BORRELLI, P., PANAGOS, P., BALLABIO, C., LUGATO, E., WEYNANTS, M. & MONTANARELLA, L. (2016): Towards a Pan-European assessment of land susceptibility to wind erosion, *Land Degradation and Development*, 27 (4), pp. 1093-1105.
- [52.] BOSSEW, P., TOLLEFSEN, T., GRUBER, V. & DE CORT, M. (2013): The European radon mapping project, IX. Latin American IRPA Regional Congress on Radiation Protection and Safety —IRPA 2013. Sociedade Brasileira De Protecao Radiologica - SBPR, Rio de Janeiro, Brazil (April 15–19, 2013).
- [53.] BOU KHEIR, R., BØCHER, P. K., GREVE, M. B. & GREVE, M. H. (2010): The application of GIS based decision-tree models for generating the spatial distribution of hydromorphic organic landscapes in relation to digital terrain data, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (6), pp. 847–857.
- [54.] BOUMA, J. & MCBRATNEY, A. (2013): A Framing soils as an actor when dealing with wicked environmental problems, *Geoderma*, 200–201, pp. 130-139.
- [55.] BOUMA, J. & MONTANARELLA, L. (2016): Facing policy challenges with inter- and transdisciplinary soil research focused on the UN Sustainable Development Goals, *Soil*, 2 (2), pp. 135–145.
- [56.] BOURENNANE, H. & KING, D. (2003): Using multiple external drifts to estimate a soil variable, *Geoderma*, 114 (1-2), pp. 1–18.
- [57.] BOURENNANE, H., COUTURIER, A., PASQUIER, C., CHARTIN, C., HINSCHBERGER, F., MACAIRE, J.-J. & SALVADOR-BLANES, S. (2014): Comparative performance of classification algorithms for the development of models of spatial distribution of landscape structures, *Geoderma*, 219-220, pp. 136–144.
- [58.] BOURENNANE, H., DÉRE, CH., LAMY, I., CORNU, S., BAIZE, D., VAN OORT, F. & KING, D. (2006): Enhancing spatial estimates of metal pollutants in raw wastewater irrigated fields using a topsoil organic carbon map predicted from aerial photograph, *Science of the Total Environment*, 361 (1-3), pp. 229–248.
- [59.] BOZÁN, CS., KÖRÖSPARTI, J., ANDRÁSI, G., TÚRI, N. & PÁSZTOR, L. (2017): Inland excess water hazard on the flat lands in Hungary, *Columella: Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 4 (1. (suppl)), pp. 45-48.
- [60.] BOZÁN, CS., KÖRÖSPARTI, J., PÁSZTOR, L., KUTI, L., KOZÁK, P. & PÁLFAI, I. (2009): GIS-based Mapping of excess water inundation hazard in Csongrád county (Hungary), *Proceedings of the International Symposia on Risk Factors for Environment and Food Safety & Natural Resources and Sustainable Development*, Faculty of Environmental Protection, November 6-7, Oradea, 2009, pp. 678-684.
- [61.] BOZÁN, CS., PÁLFAI, I., PÁSZTOR, L., KOZÁK, P. & KÖRÖSPARTI, J. (2005): Mapping of Excess Water Hazard in Békés and Csongrád Counties of Hungary, *ICID 21st European Regional Conference Integrated Land and Water Resources Management: Towards Sustainable Rural Development*, 15- 19 May 2005, Frankfurt (an Oder) and Slubice, Germany and Poland, 4.
- [62.] BOZÁN, CS., TAKÁCS, K., KÖRÖSPARTI, J., LABORCZI, A., TÚRI, N. & PÁSZTOR, L. (2018): Integrated Spatial Assessment of Inland Excess Water Hazard on the Great Hungarian Plain, *Land Degradation and Development*, (online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.3187>).
- [63.] BÖHNER, J., KÖTHE, R., CONRAD, O., GROSS, J., RINGELER, A. & SELIGE, T. (2002): Soil regionalisation by means of terrain analysis and process parameterisation. [In: *Soil Classification 2001*. EUR 20398 EN. (Eds.: MICHÉLI E., NACHTER-GAELE, F. & MONTANARELLA, L.)] The European Soil Bureau, Joint Research Centre, Ispra, pp. 213–222.
- [64.] BÖHNER, J., MCCLOY, K. R. & STROBL, J. (Eds.) (2006): *SAGA – Analysis and Modelling Applications*, Göttinger Geographische Abhandlungen, pp. 115.
- [65.] BÖHNER, J., SCHÄFER, W., CONRAD, O., GROSS, J. & RINGELER, A. (2003): The WEELS model: methods, results and limitations, *Catena*, 52 (3-4), pp. 289–308.
- [66.] BREIMAN, L. (1996): Bagging predictors, *Machine Learning*, 24 (2), pp. 123–140.
- [67.] BREIMAN, L. (1998): Arcing classifiers (with discussion and a rejoinder by the author), *The Annals of Statistics*, 26 (3), pp. 801–849.
- [68.] BREIMAN, L. (2001): Random forests, *Machine Learning*, 45 (1), pp. 5–32.
- [69.] BREIMAN, L., FRIEDMAN, J., STONE, C. J. & OLSHEN, R. A. (1984): *Classification and Regression Trees*. CRC Press LLC, Boca Raton, FL.
- [70.] BREUER, H., ÁCS, F., HORVÁTH, Á., LAZA, B., MATYASOVSKY, I., NÉMETH, P., WEIDINGER, T. & RAJKAI, K. (2012): A Sensitivity Study on the Soil Parameter-Boundary Layer Height Interrelationship, *International Scholarly Research Network Meteorology*, 2012, ID: 786592.
- [71.] BREVIK, E. C., CALZOLARI, C., MILLER, B. A., PEREIRA, P., KABALA, C., BAUMGARTEN, A. & JORDÁN, A. (2016a): Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions, *Geoderma*, 264 part B, pp. 256–274.
- [72.] BRODNIG, G. & MAYER-SCHÖNBERGER, V. (2000): Bridging the Gap: The Role of Spatial Information Technologies in the Integration of Traditional Environmental Knowledge and Western Science, *The Electronic Journal of Information Systems in Developing Countries*, 1 (1), pp. 1-15.
- [73.] BROWN, D. J. (2006): A historical perspective on soil-landscape modeling. [In: *Environmental Soil-Landscape Modeling: Geographic Information Technologies and Pedometrics* (EDS.: GRUNWALD, S.)], Taylor & Francis, Boca Raton, pp. 61.
- [74.] BRUNGARD, C. W., BOETTINGER, J. L., DUNIWAY, M. C., WILLS, S. A. & EDWARDS, T. C. (2015): Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes, *Geoderma*, 239-240, pp. 68–83.
- [75.] BRUS, D. J. & DE GRUIJTER, J. J. (1997): Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil (with Discussion), *Geoderma*, 80 (1-2), pp. 1–44.
- [76.] BRUS, D. J. & HEUVELINK, G. B. M. (2007a): Towards a Soil Information System with quantified accuracy; Three approaches for stochastic simulation of soil maps, *Wageningen, Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment*, WOt-rapport 58, pp. 96.

- [77.] BRUS, D. J. & HEUVELINK, G. B. M., (2007): Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables, *Geoderma*, 138 (1-2), pp. 86–95.
- [78.] BRUS, D. J., DE GRUIJTER, J. J. & VAN GROENIGEN, J. W. (2006): Designing spatial coverage samples using the k-means clustering algorithm, *Developments in Soil Science*, 31, pp. 183–192.
- [79.] BUI, E. N. & MORAN, C. J. (2001): Disaggregation of polygons of surficial geology and soil maps using spatial modelling and legacy data, *Geoderma*, 103 (1-2), pp. 79–94.
- [80.] BUI, E. N., HENDERSON, B. L. & VIERGEVER, K. (2006): Knowledge discovery from models of soil properties developed through data mining, *Ecological Modelling*, 191 (3-4), pp. 431–446.
- [81.] BURAI, P. & TAMÁS, J. (2005): Talajdegradációs folyamatok vizsgálata nagy felbontású távérzékelte adatforrások alapján, *Agrártudományi Közlemények*, 16, pp. 145–148.
- [82.] BURGESS, T. M. & WEBSTER, R. (1980a): Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, I, The semivariogram and punctual kriging, *Journal of Soil Science*, 31 (2), pp. 315–331.
- [83.] BURGESS, T. M. & WEBSTER, R. (1980b): Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, II. Block kriging, *Journal of Soil Science*, 31 (2), pp. 333–341.
- [84.] BURINGH, P. (1954): The analysis and interpretation of aerial photographs in soil survey and land classification, *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 2 (1), pp. 16–26.
- [85.] BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R. A., LLOYD, C. D. (1998): *Principles of geographical information systems*, Oxford University Press, New York.
- [86.] BUTTAUFUOCO, G., TALLARICO, A. & FALCONE, G. (2007): Mapping soil gas radon concentration: a comparative study of geostatistical methods, *Environmental Monitoring and Assessment*, 131 (1-3), pp. 135–151.
- [87.] BÜTTNER, GY., KOSZTRA, B., MAUCHA, G. & PATAKI, R. (2012): Implementation and achievements of CLC2006, European Environment Agency, Technical Report – Revised Final Draft.
- [88.] BÜTTNER, GY., MAUCHA, G., BÍRÓ, M., KOSZTRA, B., PATAKI, R. & PETRIK, O. (2004): National land cover database at scale 1:50,000 in Hungary, *EARSeL eProceedings*, 3 (3), pp. 323–330.
- [89.] CASA, R., CASTALDI, F., PASCUCCI, S. & PIGNATTI, S. (2012): Potential of hyperspectral remote sensing for field scale soil mapping and precision agriculture applications, *Italian Journal of Agronomy*, 7 (4), pp. 331–336.
- [90.] CAVAZZI, S., CORSTANJE, R., MAYR, T., HANNAM, J. & FEALY, R. (2013): Are fine resolution digital elevation models always the best choice in digital soil mapping?, *Geoderma*, 195-196, pp. 111–121.
- [91.] CENTERI, CS., & PATAKI, R. (2000): Erosion map of Hungary. Proceedings of the Conference on Environmental Management of the Rural Landscape in Central and Eastern Europe, Podbanske, Slovakia, pp. 20–22.
- [92.] CHABRILLAT, S., GOETZ, A. F. H., KROSLEY, L. OLSEN, H. W. (2002): Use of hyperspectral images in the identification and mapping of expansive clay soils and the role of spatial resolution, *Remote Sensing of Environment*, 82 (2-3), pp. 431–445.
- [93.] CHANG, D-H. & ISLAM, S. (2000): Estimation of soil physical properties using remote sensing and artificial neural network, *Remote Sensing of Environment*, 74 (3), pp. 534–544.
- [94.] CHEN, D. & WEI, H. (2009): The effect of spatial autocorrelation and class proportion on the accuracy measures from different sampling designs, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64 (2), pp. 140-150.
- [95.] CHILÈS, J.-P. & DELFINER, P. (1999): *Geostatistics – Modeling Spatial Uncertainty*, John Wiley & Sons, New York.
- [96.] CHUNG, J. & ROGERS, J. D. (2011): Interpolations of Groundwater Table Elevation in Dissected Uplands, *Ground Water*, 50 (4), pp. 598-607.
- [97.] COHEN, J. (1960): A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20 (1), pp. 37–46.
- [98.] COLLARD, F., KEMPEN, B., HEUVELINK, G. B. M., SABY, N. P. A., RICHER DE FORGES, A. C., LEHMANN, S., NEHLIG, P. & ARROUAYS, D. (2014): Refining a reconnaissance soil map by calibrating regression models with data from the same map (Normandy, France), *Geoderma Regional*, 1, pp. 21–30.
- [99.] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (2009): Towards a better targeting of the aid to farmers in areas with natural handicaps COM, 161, Brussels.
- [100.] CONFORTI, M., BUTTAUFUOCO, G., RAGOB, V., AUCELLIC, P. P. C., ROBUSTELLIB, G., & SCARCIGLIA, F. (2016): Soil loss 6 assessment in the Turbolo catchment (Calabria, Italy), *Journal of Maps*, 12 (5), pp. 815-825.
- [101.] CONRAD, O., BECHTEL, B., BOCK, M., DIETRICH, H., FISCHER, E., GERLITZ, L., WEHBERG, J., WICHMANN, V. & BÖHNER, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, *Geoscientific Model Development*, 8 (7), pp. 1991-2007.
- [102.] COOK, S. E., JARVIS, A. & GONZALEZ, J. P. (2008): A new global demand for digital soil information, [In: *Digital Soil Mapping with Limited Data*. (Eds.: HARTEMINK, A. E., MCBRATNEY, A. B., MENDONÇA-SANTOS, M.) Springer, Dordrecht, pp. 31-42.
- [103.] CRESSIE, N. A. (1993): *Statistics for Spatial Data*, revised edition, Wiley, NY, 1993.
- [104.] CZIMBER, K. (2009): Új, általános célú képosztályozó kifejlesztése nagyfelbontású, textúrával rendelkező digitális képek feldolgozására, *Geomatikai Közlemények*, 12, pp. 249–259.
- [105.] CSILLAG, F. & KABOS, S. (1996): Hierarchical decomposition of variance with applications in environmental mapping based on satellite images, *Mathematical Geology*, 28 (4), pp. 385–405.
- [106.] CSILLAG, F. & KERTÉSZ, M. (1989): Spatial variability: Error in natural resource maps?, *Agrokémia és Talajtan*, 38, pp. 715–726.



- [107.] CSILLAG, F., KERTÉSZ, M. & KUMMERT, Á. (1996): Sampling and Mapping of Heterogeneous Surfaces: Multi-Resolution Tiling Adjusted to Spatial Variability, *International Journal of Geographical Information Systems*, 10 (7), pp. 851-875.
- [108.] CSILLAG, F., KUMMERT, Á. & KERTÉSZ, M. (1992): Resolution, accuracy and attributes: Approaches for environmental geographical information systems, *Computers, Environment and Urban Systems*, 16 (4), pp. 289-297.
- [109.] CSILLAG, F., PÁSZTOR, L. & BIEHL, L. L. (1993): Spectral band selection for the characterization of salinity status of soils, *Remote Sensing of Environment*, 43 (3), pp. 231-242.
- [110.] CSORBA, Á. SZALAY, K. D. & FENYVESI, L. (2014): Identification of soil classification units from VIS-NIR spectral signatures. In: *International Conference of Agricultural Engineering*, 6-10 July, Zürich. Paper No. CO665.
- [111.] DANGERMOND, J. (2003): Foreword. [In: *Advanced Spatial Analysis*. (Eds.: LONGLEY, P.A., BATTY, M.), ESRI Press, Redlands.
- [112.] DANGERMOND, J. (2011): GIS: A Language for Understanding. *ArcNews*.
- [113.] DANIEL, E. B., CAMP, J. V., LEBOEUF, E. J., PENROD, J. R., DOBBINS, J. P. & ABKOWITZ, M. D. (2011): Watershed modeling and its application: a state-of-the-art review, *The Open Hydrology Journal*, 5, pp. 26-50.
- [114.] DE GRUIJTER, J. J., BRUS, D. J., BIERKENS, M. F. P. & KNOTTERS, M. (2006): *Sampling for natural resource monitoring*. Springer, Berlin.
- [115.] DE MENEZES, M. D., SILVA, S. H. G., OWENS, P. R. & NILTON C. (2013): Digital soil mapping approach based on fuzzy logic and field expert knowledge, *Ciência e Agrotecnologia*, 37(4), pp. 287-298.
- [116.] DEBELLA-GILO, M. & ETZELMÜLLER, B. (2009): Spatial prediction of soil classes using digital terrain analysis and multinomial logistic regression modeling integrated in GIS: examples from Vestfold County, Norway, *Catena*, 77 (1), pp. 8-18.
- [117.] DEMATTÊ, J. A. M., CAMPOS, R. C., ALVES, M. C., FIORIO, P. R. & NANNI, M. R. (2004): Visible-NIR reflectance: a new approach on soil evaluation, *Geoderma*, 121 (1-2), pp. 95-112.
- [118.] DETREKŐI, Á. & SZABÓ, GY. (1995): *Bevezetés a térinformatikába*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- [119.] DEUTSCH, C. V. & JOURNEL, A. G. (1998): *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*, Oxford University Press, New York.
- [120.] DI, H. J., TRANGMAR, B. B. & KEMP, R. A. (1989): Use of geostatistics in designing sampling strategies for soil survey, *Soil Science Society of America Journal*, 53 (4), pp. 1163-1167.
- [121.] DIODATO, N. & CECCARELLI, M. (2004): Multivariate Indicator Kriging Using a GIS to Classify Soil Degradation for Mediterranean Agricultural Lands, *Ecological Indicators*, 4 (3), pp. 177-187.
- [122.] DOBOS, E. (2017): Hagymányos és digitális talajtérképezési eljárások ötvözése a precíziós mezőgazdaságban. In: *XIX Nemzetközi Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság*, pp. 1.
- [123.] DOBOS, E., BIALKÓ, T., MICHELI, E. & KOBZA, J. (2010): Legacy soil data harmonization and database development. [In: *Digital Soil Mapping. Bridging Research, Environmental Application, and Operation*. (Eds.: BOETTINGER, J. L., HOWELL, D. W., MOORE, A. C., HARTEMINK, A. E. AND KIENAST-BROWN, S.), Springer, Dordrecht, 2, pp. 309-323.
- [124.] DOBOS, E., BLISS, N., WORSTELL, B., MONTANARELLA, L., JOHANNSEN, C. & MICHELI, E. (2002): The use of DEM and satellite data for regional scale soil databases. In: *17th WCSS, Thailand (August 14-21, 2002)*, 649-1-649-12.
- [125.] DOBOS, E., CARRÉ, F., HENGL, T., REUTER, H. I. & TÓTH, G. (EDS.) (2006): *Digital Soil Mapping as a Support to Production of Functional Maps*. EUR 22123 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- [126.] DOBOS, E. & HENGL, T. (2009): Soil mapping applications, [In: *Geomorphometry – Concepts, Software, Applications*. (Eds.: HENGL, T. & REUTER, H. I.), *Developments in Soil Science*, 33, pp. 461-479.
- [127.] DOBOS, E., MICHELI, E. & BAUMGARDNER, M. F. (1998): Statistical analysis of Advanced Very High Resolution Radiometer data (AVHRR) soil relationship, *Agrokémia és Talajtan*, 47 (1-4), pp. 49-62.
- [128.] DOBOS, E., MICHELI, E. & MONTANARELLA, L. (2007): The population of a 500-m resolution soil organic matter spatial information system for Hungary. [In: *Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective*. *Developments in soil science*. (Eds.: LAGACHERIE, P., MCBRATNEY, A. B. & VOLTZ, M.), Elsevier. Amsterdam, 31, pp. 487-495.
- [129.] DOBOS, E., SERES, A. & VADNAI, P. (2012): Az e-SOTER digitális talajtérképezés módszertana. [In: *Geographia Pannonica Nova*. Publikon Kiadó, Pécs] pp. 11-26.
- [130.] DOBOS, E., SERES, A., VADNAI, P., MICHÉLI, E., FUCHS, M., LÁNG, V., BERTÓTI, R. D. & KOVÁCS, K. (2013): Soil parent material delineation using MODIS and SRTM data, *Hungarian Geographical Bulletin*, 62 (2), pp. 133-156.
- [131.] DOBOS, E., VADNAI, P., MICHÉLI, E., LÁNG, V., FUCHS, M. & SERES, A. (2011): Új generációs nemzetközi talajtérképek készítése, az e-SOTER módszertan, [In: *Az Elmélet És a Gyakorlat Találkozása a Térinformatikában II*], pp. 53-60.
- [132.] DOBOS, E., VADNAI, P., PÁSZTOR, L., MICHELI, E., KOVÁCS, K. & BERTÓTI, R. D. (2016): A WRB based harmonized digital soil map of the Carpathian-basin, *Geophysical Research Abstracts*, 18, p. EGU2016-12592.
- [133.] DOĞAN, H. M., KILIÇ, O. M., YILMAZ, D. S., BUHAN, E., POLAT, F., & BUHAN, S. D. (2015): Integration of GIS and remote sensing with the USLE model in the assessment of annual soil loss and sediment input of Zinav Lake basin in Turkey, *Fresenius Environmental Bulletin*, 24 (1a), pp. 172-179.
- [134.] DOKUCSAJEV, V. (1899): Hozzájárulás a természetes övezetesség elméletéhez: horizontális és vertikális talajzónák [orosz nyelven]. Szentpétervár.
- [135.] DORKA, D. (2004): Döntéstámogató talajinformációs rendszer kialakítása a mezőgazdaságban, *Acta Agraria Debreceniensis*, 13, pp. 130-133.
- [136.] DUBOIS, G., BOSSEW, P., TOLLEFSEN, T. & DE CORT, M. (2010): First steps towards a European atlas of natural radiation: status of the European indoor radon map, *Journal of Environmental Radioactivity*, In: DurrIDGE Company Inc., 2000.

- RAD7 electronic radon detector, User Manual. EU-DEM dataset. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem#tab-europeandata> European Environment Agency. 101 (10), pp. 786–798.
- [137.] DUBOVYK, O. (2017): The role of Remote Sensing in land degradation assessments: opportunities and challenges, *European Journal of Remote Sensing*, 50 (1), pp. 601–613.
- [138.] DWIVEDI, R. S. (2017): Remote sensing of soils. Springer, Heidelberg.
- [139.] ELIASSON, A., JONES, R. J. A., NACHTERGAELE, F., ROSSITER, D. G., TERRES, J.-M., VAN ORSHOVEN, J., VAN VELTHUIZEN, H., BÖTTCHER, K., HAASTRUP, P. & LE BAS, C. (2010): Common criteria for the redefinition of intermediate less favoured areas in the European Union, *Environmental Science & Policy*, 13 (8), pp. 766–777.
- [140.] EPPINK, L. A. A. J. & SPAAN, W. P. (1989): Agricultural wind erosion control measures in the Netherlands, *Soil Technology Series*, 1, pp. 1–13.
- [141.] FAHEEM, M. & MATIULLAH (2008): Radon exhalation and its dependence on moisture content from samples of soil and building materials, *Radiation Measurements*, 43 (8), pp. 1458–1462.
- [142.] FAIRBAIRN, D. (2006): Measuring map complexity, *The Cartographic Journal*, 43 (3), pp. 224–238.
- [143.] FANTAPPIÈ, M., PRIORI, S. & COSTANTINI, E. A. C. (2014): Soil erosion risk, Sicilian Region (1:250,000 scale), *Journal of Maps*, 11 (2), pp. 323–341.
- [144.] FAO, 2006. Guidelines for soil description. FAO, Rome.
- [145.] FARKAS, CS., RAJKAI, K., KERTÉSZ, M., BAKACSI, ZS. & VAN MEIRVENNE, M. (2008): Spatial variability of soil hydro-physical properties: A case study in Herceghalom, Hungary. [In: *Soil Geography and Geostatistics: Concepts and Applications* (Eds.: KRASILNIKOV, P., CARRÉ, F. & MONTARANILLA, L.)], Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 107–128.
- [146.] FARSANG, A. (2016): A víz- és szélérózió szerepe a talaj humusz- és elemtartalmának horizontális átrendeződésében, MTA doktori értekezés, Szeged, pp. 183.
- [147.] FIELD, D. J., MORGAN, C. L. S. & MCBRATNEY A. B. (Eds.) (2017): *Global Soil Security*, Springer.
- [148.] FILEP, GY. & FERENCZ, G. (1999): Javaslat a magyarországi talajok szemcseösszetétel szerinti osztályozásának pontosítására, *Agrokémia és Talajtan*, 48 (3-4), pp. 305–320.
- [149.] FILEP, GY. & WAFI, M. J. K. (1993): A talajoldat sókoncentrációjának és a talaj nátriumtelítettségének (ESP) számítása a telítési oldat jellemzőiből, *Agrokémia és Talajtan*, 42 (3–4), pp. 245–256.
- [150.] FLORINSKY, V., EILERS, R. G., MANNING, G. R. & FULLER, L. G. (2002): Prediction of soil properties by digital terrain modelling, *Environmental Modelling & Software*, 17 (3), pp. 295–311.
- [151.] FODOR, N. (2012): 4Mx talaj-növény modell: alkalmazások, lehetőségek és kihívások, *Agrárinformatika / Agricultural Informatics*, 3 (2), pp. 50–60.
- [152.] FODOR, N., DOBI, I., MIKA, J. & SZEIDL, L. (2010): MV-WG: a new multi-variable weather generator METEOROLOGY AND ATMOSPHERIC PHYSICS, 107 (3-4), pp. 91–101.
- [153.] FODOR, N. & PÁSZTOR, L. (2010): The agro-ecological potential of Hungary and its prospective development due to climate change, *APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH*, 8 (3), pp. 177–190.
- [154.] FODOR, N., PÁSZTOR, L. & NÉMETH, T. (2014): Coupling the 4M crop model with national geo-databases for assessing the effects of climate change on agroecological characteristics of Hungary, *International Journal of Digital Earth*, 7 (5), pp. 391–410.
- [155.] FODOR, N., MÁTHÉNÉ GÁSPÁR, G. & KOVÁCS, G. J. (2008): A 4M tápanyagmodell adatigénye és gyakorlati felhasználása, *Agrokémia és Talajtan*, 57 (1).
- [156.] FÓRIZSNÉ, MÁTÉ, F. & STEFANOVITS, P. (1972): Talajbonitáció, földértékelés, *Agrártudományi közlemények*, 30 (3), pp. 359–378.
- [157.] FOTHERINGHAM, A. S. & BRUNSDON, C. (2004): Some thoughts on inference in the analysis of spatial data, *International Journal of Geographical Information Science*, 18 (5), pp. 447–457.
- [158.] FRANKLIN, J. (1995): Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients, *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 19 (4), pp. 474–499.
- [159.] FRIDLAND, V. M. (1974): Structure of the soil mantle, *Geoderma*, 12 (1-2), pp. 35–41.
- [160.] FRIEDMANN, H. (2005): Final results of the Austrian radon project, *Health Physics*, 89 (4), pp. 339–348. In: FAO, 2006. Guidelines for soil description. 4. 97 (Rome, FAO).
- [161.] FRYREAR, D. W., BILBRO, J. D., SALEH, A., SCHOMBERG, H., STOUT, J. E., & ZOBECK, T. M. (2000): RWEQ: Improved wind erosion technology. *Journal of Soil and Water Conservation*, 55 (2), pp. 183–189.
- [162.] FUNK, R. & REUTER, H. I. (2006): Wind erosion. [In: *Soil erosion in Europe*, (Eds.: BOARDMAN, J. & POESEN, J.)], Wiley, Chichester, pp. 563–582.
- [163.] FUNK, R., DEUMLICH, D., VOELKER, L. & STEIDL, J. (2004): GIS application to estimate the wind erosion risk in the Federal State of Brandenburg, [In: *Wind Erosion and Dust Dynamics: Observations, Simulations, Modelling*, (Eds.: GOOSSENS, D. & RIKSEN, M.)], ESW Publications, Wageningen, pp. 139–150.
- [164.] FÜHRER, E., HORVÁTH, L., JAGODICS, A., MACHON, A. & SZABADOS, I. (2011): Application of a new aridity index in Hungarian forestry practice, *Időjárás*, 115 (3), pp. 205–216.
- [165.] FÜST, A. & GEIGER, J. (2010): Monitoringtervezés és –értékelés geostatistikai módszerekkel I.: Szakértői véleményen alapuló „igazoló” mintázás geostatistikai támogatása, *Földtani Közlöny*, 140 (3), pp. 303–312.
- [166.] GARTEN JR., C. T., KANG, S., BRICE, D. J., SCHADT, C. W. & ZHOU, J. (2007): Variability in soil properties at different spatial scales (1 m–1 km) in a deciduous forest ecosystem, *Soil Biology & Biochemistry*, 39 (10), pp. 2621–2627.

- [167.] GE, Y., THOMASSON, J. A. & SUI, R. (2011): Remote sensing of soil properties in precision agriculture: A review, *Frontiers of Earth Sciences*, 5 (3), 229–238.
- [168.] GEIGER, J. (2006a): *Geostatistika (kézirat)*, Szegedi Tudományegyetem Földtani és Őslénytani Tanszék, Szeged.
- [169.] GEIGER, J. (2006b): Szekvenciális gaussi szimuláció az övzátonytestek kisléptékű heterogenitásának modellezésében, *Földtani Közöny*, 136 (4), pp. 527–546.
- [170.] GEIGER, J. (2012): Some thoughts on the pre- and post-processing in sequential gaussian simulation and their effects on reservoir characterization. [In: *New Horizons in Central European Geomathematics, Geostatistics and Geoinformatics: Selected studies of the 2011 Croatian-Hungarian Geomathematical Convent*, Mórahalom (Eds.: GEIGER, J., PÁL-MOLNÁR, E. & MALVIC, T.)], *GeoLittera*, Szeged, pp. 17–35.
- [171.] GESSLER, P. E., MOORE, I. D., MCKENZIE, N. J. & RYAN, P. J. (1995): Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes, *International Journal of Geographical Information Systems*, 9 (4), pp. 421–432.
- [172.] GIASSON, E., SARMENTO, E. C., WEBER, E., FLORES, C. A. & HASENACK, H. (2011): Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steep slopes. *Scientia Agricola* (Piracicaba, Braz.), 68 (2), pp. 167–174.
- [173.] GLOBAL SOIL ORGANIC CARBON MAP, <http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/4-information-and-data/global-soil-organic-carbon-gsoc-map/en/>
- [174.] GLOBALSOILMAP, <http://www.globalsoilmap.net/>
- [175.] GODWIN, D. C. & SINGH, U. (1998): Nitrogen balance and crop response to nitrogen in upland and lowland cropping systems. [In: *Understanding Options for Agricultural Production*. (EDS.: TSUJI, G. Y., HOOGENBOOM, G. & THORNTON, P. K.)] Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 55–77.
- [176.] GOLDEN, M., MICHÉLI, E., DITZLER, C., ESWARAN, H., OWENS, P., ZHANG, G., MCBRATNEY, A., HEMPEL, J., MONTANARELLA, L. & SCHAD, P. (2010): Time for a Universal Soil Classification System, In: *19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*, pp. 48–51.
- [177.] GOMES, L., ARRUE, J. L., LÓPEZ, M. V., STERK, G., RICHARD, D., GRACIA, R., GAUDICHET, A. & FRANGI, J. P. (2003): Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain: the WELSONS project, *Catena*, 52 (3–4), pp. 235–256.
- [178.] GOODCHILD, M. F. (2010): Twenty years of progress: GIScience in 2010, *Journal of Spatial Information Science*, 1 (1), pp. 3–20.
- [179.] GOODCHILD, M. F., GUOQING, S. & SHIREN, Y. (1992): Development and test of an error model for categorical data, *International Journal of Geographical Information Systems*, 6 (2), pp. 87–103.
- [180.] GOODCHILD, M. F., SHORTRIDGE, A. M. & FOHL, P. (1999): Encapsulating simulation models with geospatial data sets. [In: *Spatial accuracy assessment: Land information uncertainty in natural resources* (Eds.: LOWELL, K. & JATON, A.)], Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, pp. 123–130.
- [181.] GOOSSENS, D. (2001): The on-site and off-site effects of wind erosion, [In: *Wind Erosion on Agricultural Land in Europe*, (Eds.: Warren, A.)], Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 29–38.
- [182.] GOOVAERTS, P. & JOURNEL, A. G. (1995): Integrating soil map information in modelling the spatial variation of continuous soil properties, *European Journal of Soil Science*, 46 (3), pp. 397–414.
- [183.] GOOVAERTS, P. (1997): *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*, Oxford University Press, New York.
- [184.] GOOVAERTS, P. (1999): Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives, *Geoderma*, 89 (1–2), pp. 1–45.
- [185.] GOOVAERTS, P. (2000): Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall, *Journal of Hydrology*, 228 (1–2), pp. 113–129.
- [186.] GOOVAERTS, P. (2001): Geostatistical modelling of uncertainty in soil science, *Geoderma*, 103 (1–2), pp. 3–26.
- [187.] GÖNDÖCS, J., BREUER, H., HORVÁTH, Á., ÁCS, F. & RAJKAI, K. (2015): Numerical study of the effect of soil texture and land use distribution on the convective precipitation, *Hungarian Geographical Bulletin*, 64 (1), pp. 3–15.
- [188.] GRANDJEAN, G., CERDAN, O., RICHARD, G., COUSIN, I., LAGACHERIE, P., TABBAGH, A., VAN WESEMAEL, B., STEVENS, A., LAMBOT, S., CARRÉ, F., MAFTÉL, R., HERMANN, T., THÖRNELÖF, M., CHIARANTINI, L., MORETTI, S., MCBRATNEY, A. B. & DOR, E. B. (2010): DIGISOIL: An integrated system of data collection technologies for mapping soil properties. [In: *Proximal Soil Sensing*. (Eds.: VISCARRA ROSSEL, R.A., MCBRATNEY, A. B. & MINASNY B.)], Springer, Dordrecht, pp. 89–101.
- [189.] GREGOIRE, T. G. & VALENTINE, H. T. (2007): *Sampling strategies for natural resources and the environment*. Taylor & Francis Group, New York.
- [190.] GREINER, L., KELLER, A., GRÊT-REGAMEY, A. & PAPRITZ, A. (2017): Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services, *Land Use Policy*, 69, pp. 224–237.
- [191.] GREINER, L., NUSSBAUM, M., PAPRITZ, A. J., ZIMMERMANN, S., GUBLER, A., GRÊT-REGAMEY, A. & KELLER, A. (2018): Uncertainty indication in soil function maps – transparent and easy-to-use information to support sustainable use of soil resources, *SOIL*, 4 (2), pp. 123–139.
- [192.] GREVE, M. H., BOU KHEIR, R., GREVE, M. B. & BØCHER, P. K. (2012): Quantifying the ability of environmental parameters to predict soil texture fractions using regression-tree model with GIS and LIDAR data: the case study of Denmark, *Ecological Indicators*, 18, pp. 1–10.
- [193.] GRIFFITH, D. A. (2005): Effective Geographic Sample Size in the Presence of Spatial Autocorrelation, *Annals of the Association of American Geographers*, 95 (4), pp. 740–760.
- [194.] GRIMM, R., BEHRENS, T., MÄRKER, M. & ELSENBEER, H. (2008): Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island — digital soil mapping using random forests analysis, *Geoderma*, 146 (1–2), pp. 102–113.
- [195.] GRINGARTEN, E. & DEUTSCH, C. V. (2001): Teacher's aide: Variogram interpretation and modeling, *Mathematical Geology*, 33 (4), pp. 507–534.

- [196.] GRUNWALD, S. & LAMSAL, S. (2006): Chapter 5. The Impact of Emerging Geographic Information Technology on Soil-Landscape Modeling, In: Environmental soil-landscape modeling: geographic information technologies and pedometrics (Eds.: GRUNWALD, S.) Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis, pp. 127-154.
- [197.] GRUNWALD, S. (2009): Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches, *Geoderma*, 152 (3-4), pp. 195-207.
- [198.] GRUNWALD, S., THOMPSON, J. A. & BOETTINGER, J. L. (2011): Digital Soil Mapping and Modeling at Continental Scales: Finding Solutions for Global Issues, *Soil Science Society of America Journal*, 75 (4), pp. 1201-1213.
- [199.] GUO, P.-T., LI, M.-F., LUO, W., TANG, Q.-F., LIU, Z.-W. & LIN, Z.-M. (2015): Digital mapping of soil organic matter for rubber plantation at regional scale: an application of random forest plus residual kriging approach, *Geoderma*, 237-238, pp. 49-59.
- [200.] GYALOG, L. & SÍKHEGYI, F. (Eds.) (2005): Geological Map of Hungary, 1:100 000. Geological Institute of Hungary, Budapest, Digital version. Retrieved December, 1, 2008 from <http://loczy.mfgi.hu/fdt100/>.
- [201.] HABOUDANE, D., MILLER, J. R., PATTEY, E., ZARCO-TEJADA, P. J. & STRACHAN, I. B. (2004): Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for pre-dicting green LAI of crop canopies: Modelling and validation in the context of precision agriculture, *Remote Sensing of Environment*, 90 (3), pp. 337-352.
- [202.] HAN, J., KAMBER, M., PEI, J. (2011): Data Mining, Concepts and Techniques. 3rd Edition Morgan-Kaufmann.
- [203.] HANNAM J. (2015): Is DSM trying to tell us something? *Pedomtron*, 38, pp. 16-18.
- [204.] HÄRING, T., DIETZ, E., OSENSTETTER, S., KOSCHITZKI, T. & SCHRÖDER B. (2012): Spatial disaggregation of complex soil map units: A decision-tree based approach in Bavarian forest soils, *Geoderma*, 185-186, pp. 37-47.
- [205.] HARTEMINK, A. E., HEMPEL, J., LAGACHERIE, P., MCBRATNEY, A., MCKENZIE, N., MACMILLAN, R. A., MINASNY, B., MONTANARELLA, L., MENDONÇA SANTOS, M. L., SANCHEZ, P., WALSH, M. & ZHANG, G.-L. (2010): GlobalSoilMap.net—A new digital soil map of the world. [In: Digital Soil Mapping - Bridging Research, Environmental Application, and Operation, (EDS.: BOETTINGER, J., HOWELL, D., MOORE, A., HARTEMINK, A. & KIENAST-BROWN, S.)], Springer, Dordrecht, pp. 423-427.
- [206.] HARTEMINK, A. E., KRASILNIKOV, P., BOCKHEIM, J. G., (2013): Soil maps of the world, *Geoderma*, 207-208, pp. 256-267.
- [207.] HARTEMINK, A. E., MCBRATNEY, A. B. & MENDONÇA-SANTOS, M. L. (2008): Digital Soil Mapping with Limited Data. Springer, Dordrecht.
- [208.] HASTIE, T., TIBSHIRANI, R. I. & FRIEDMAN, J. (2009): The elements of statistical learning: Data mining, inference and prediction. Springer, Berlin.
- [209.] HE, Y., HU, K. L., CHEN, D. L., SUTER, H. C., LI, Y., LI, B. G., YUAN, X. Y. & HUANG, Y. F. (2010): Three dimensional spatial distribution modeling of soil texture under agricultural systems using a sequence indicator simulation algorithm, *Computers and Electronics in Agriculture*, 71 (SUPPL. 1), S24-S31.
- [210.] HEIM, A., WEHRLI L., EUGSTER W. & SCHMIDT M.W. I. (2009): Effects of sampling design on the probability to detect soil carbon stock changes at the Swiss CarboEurope site Lageren, *Geoderma*, 149 (3-4), pp. 347-354.
- [211.] HEMPEL, J. W., MCBRATNEY, A. B., ARROUAYS, D., MCKENZIE, N. J. & HARTEMINK, A. E. (2014): GlobalSoilMap project history, [In: GlobalSoilMap. Basis of the Global Spatial Soil Information System. (Eds.: ARROUAYS, D., MCKENZIE, N., HEMPEL, J., RICHER DE FORGES, A. & MCBRATNEY, A. B.)], Taylor & Francis Group, London, pp. 3-8.
- [212.] HENDERSON, B. L., BUI, E. N., MORAN, C. J. & SIMON, D. A. P. (2005): Australia-wide predictions of soil properties using decision trees, *Geoderma*, 124 (3-4), pp. 383-398.
- [213.] HENGL, T. (2003): Pedometric mapping: Bridging the gaps between conventional and pedometric approaches (Ph.D. Thesis), Wageningen University, Wageningen.
- [214.] HENGL, T. (2006): Finding the right pixel size, *Computers & Geosciences*, 32 (9), pp. 1283-1298.
- [215.] HENGL, T. (2009): A Practical Guide to Geostatistical Mapping. Amsterdam, University of Amsterdam, pp. 291.
- [216.] HENGL, T., DE JESUS, J. M., HEUVELINK, G. B. M., GONZALEZ, M. R., KILIBARDA, M., BLAGOTIĆ, A., SHANGGUAN, A., WRIGHT, M. N., GENG, X., BAUER-MARSCHALLINGER, B., GUEVARA, A. A., VARGAS, R., MACMILLAN, R. A., BATJES, N. H., LEENAARS, J. G. B., RIBEIRO, E., WHEELER, I., MANTEL, S. & KEMPEN, B. (2017): SoilGrids250m: global gridded soil information based on machine learning, *PLoS One*, 12 (2).
- [217.] HENGL, T., HEUVELINK, G. B. M. & ROSSITER, D. G. (2007): About regression-kriging: From equations to case studies, *Computers & Geosciences*, 33 (10), pp. 1301-1315.
- [218.] HENGL, T., HEUVELINK, G. B. M. & STEIN, A. (2004): A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging, *Geoderma*, 120 (1-2), pp. 75-93.
- [219.] HENGL, T., HEUVELINK, G. B. M., KEMPEN, B., LEENAARS, J. G. B., WALSH, M. G., SHEPHERD, K. D., SILA, A., MACMILLAN, R. A., MENDES DE JESUS, J., TAMENE, L. & TONDOH, J. E. (2015): Mapping Soil Properties of Africa at 250 m Resolution: Random Forests Significantly Improve Current Predictions, *PLoS ONE*, 10 (6): e0125814.
- [220.] HENGL, T., MENDES DE JESUS, J., MACMILLAN, R. A., BATJES, N. H., HEUVELINK, G. B. M., RIBEIRO, E., SAMUEL-ROSA, A., KEMPEN, B., LEENAARS, J. G. B., WALSH, M. G. & GONZALEZ, M. R. (2014): SoilGrids1km—Global Soil Information Based on Automated Mapping, *PLoS ONE*, 9 (8): e105992, pmid:25171179.
- [221.] HENGL, T., NIKOLIĆ, M. & MACMILLAN, R. A. (2013): Mapping efficiency and information content, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 22, pp. 127-138.
- [222.] HENGL, T., NUSSBAUM, M., WRIGHT, M. N., HEUVELINK, G. B. M. & GRÄLER, B. (2018): Random Forest as a generic framework for predictive modeling of spatial and spatio-temporal variables, *PeerJ Preprints*, 6: e26693v2.



- [223.] HENGL, T., ROSSITER, D. G. & STEIN, A. (2003): Soil sampling strategies for spatial prediction by correlation with auxiliary maps, *Australian Journal of Soil Research*, 41 (8), pp. 1403–1422.
- [224.] HEUNG, B., BULMER, C. E. & SCHMIDT, M. G. (2014): Predictive soil parent material mapping at a regional-scale: a random forest approach, *Geoderma*, 214–215, pp. 141–154.
- [225.] HEUNG, B., HO, H. C., ZHANG, J., KNUDBY, A., BULMER, C. E. & SCHMIDT, M. G. (2016): An overview and comparison of machine-learning techniques for classification purposes in digital soil mapping, *Geoderma*, 265, pp. 62–77.
- [226.] HEUVELINK, G. B. M. (2006): Accuracy Assessment. [In: Digital soil mapping: as a support to production of functional maps, (EDS.: DOBOS, E., CARRÉ, F., HENGL, T., REUTER, H. I., TÓTH, G.)] European Communities, pp. 29–33.
- [227.] HEUVELINK, G. B. M. (2014): Uncertainty Quantification of GlobalSoilMap Products. [In: GlobalSoilMap: Basis of the Global Soil Information System (Eds.: ARROUAYS, D., MCKENZIE, N. J., HEMPEL, J. W., RICHER DE FORGES, A. C., MCBRATNEY, A.)] Taylor & Francis Group, CRC press, London, pp. 335–340.
- [228.] HEUVELINK, G. B. M., KROS, J., REINDS, G. J. & DE VRIES, W. (2016): Geostatistical prediction and simulation of European soil property maps. *Geoderma Regional* 7 (2), pp. 201–215.
- [229.] HEUVELINK, G. B. M. & WEBSTER, R. (2001): Modelling soil variation: past, present and future. *Geoderma*, 100 (3-4), pp. 269–301.
- [230.] HEWITT, A. E. (1993): Predictive modelling in soil survey, *Soils and Fertilizers*, 56, pp. 305–314.
- [231.] HITZIGER, M. & LIEß, M. (2014): Comparison of three supervised learning methods for digital soil mapping: application to a complex terrain in the Ecuadorian Andes, *Applied and Environmental Soil Science*, 2014, pp. 12.
- [232.] HOVÁNYI, L., FÜST, A., SZÉP, I. (1977) Bauxit előfordulások optimális megkutatása. *Földtani Kutatás*, XX. évfolyam 2-3. szám, pp. 1-8.
- [233.] HUA, J., XIONG, Z., LOWELY, J., SUH, E. & DOUGHERTY, E. R. (2005): Optimal number of features as a function of sample size for various classification rules, *Bioinformatics*, 21 (8), pp. 1509–1515.
- [234.] HUEBNER, C., KOTTMEIER, C. & BRANDELIK, A. (2011): A new approach towards large scale soil moisture mapping by radio waves, *Sensing and Imaging*, 12 (1-2), pp. 1–13.
- [235.] HUETE, A. R. (1988): A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, 25 (3), pp. 295–309.
- [236.] IELSCH, G., FERRY, C., TYMEN, G. & ROBÉ, M. C. (2002): Study of a predictive methodology for quantification and mapping of the radon-222 exhalation rate, *Journal of Environmental Radioactivity*, 63 (1), pp. 15–33.
- [237.] ILLÉS, G., FONYÓ, T., PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS, LABORCZI, A., SZATMÁRI, G. & SZABÓ, J. (2016): Az Agrárklíma 2 projekt eredményei: Magyarország digitális talajtípus térképének előállítása, *Erdészettudományi Közlemények*, 6 (1), pp. 17–24.
- [238.] ILLÉS, G., KOLLÁR, T., VEPERDI, G. & FÜHRER, E. (2014): A zalai faállományok magassági növekedésének és fatermésének kapcsolata a termőhelyi tényezőkkel, *Erdészettudományi Közlemények*, 4 (2), pp. 77–89.
- [239.] ILLÉS, G., KOVÁCS, G. & HEIL, B. (2011): Comparing and evaluating digital soil mapping methods in a Hungarian forest reserve, *Canadian Journal of Soil Science*, 91 (4), pp. 615–626.
- [240.] IRVINE, B., & KOSMAS, C. (2003): PESERA User's manual. PESERA Technical Report Deliverable 15, European Commission funded fifth framework project contract QLK5-CT-1999-01323, pp. 34.
- [241.] ISAAKS, E. H. & SRIVASTAVA R. M. (1989): An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York, Oxford.
- [242.] JABBAR, M. T. (2003): Application of GIS to estimate soil erosion using RUSLE, *Geo-spatial Information Science*, 6 (1), pp. 34–37.
- [243.] JÁRÓ, Z. (1963): Talajtípusok. Országos Erdészeti Főigazgatóság, Budapest.
- [244.] JASSÓ, F., JENEY, I. & HORVÁTH, B. (Eds.) (1987): Útmutató a nagyméretarányú országos talajtérképezés végrehajtásához, Melioráció – öntözés és tápanyaggazdálkodás/'87 melléklet, Agroiinformációs Vállalat, Budapest, pp. 146.
- [245.] JENEY, I. & JASSÓ, F. (1983): Magyarország genetikus talajtérképe (méretarány: 1:200.000). Kartográfiai Vállalat, Budapest.
- [246.] JENNY, H. (1941): Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology. McGraw-Hill Book Co, New York, pp. 281.
- [247.] JOLÁNKAI, ZS., KARDOS, M., KONCSOS, L., KOZMA, ZS. & MUZELÁK, B. (2012): Pilot Area Studies in Hungary with a Novel Integrated Hydrologic Model – WaterRisk, Proceedings of the 6th IWA International Conference for Young Water Professionals, Budapest, Hungary, (CD, id: IWA-9840).
- [248.] JOURNEL, A. G. (1983): Non-parametric estimation of spatial distributions, *Mathematical Geology*, 15 (3), pp. 445–468.
- [249.] JOURNEL, A. G. (1986): Geostatistics: Models and tools for the earth sciences, *Mathematical Geology*, 18 (1), pp. 119–140.
- [250.] JOURNEL, A. G. & ROSSI, M. E. (1989): When do we need a trend model in kriging?, *Mathematical Geology*, 21 (7), pp. 715–739.
- [251.] JUHÁSZ I. (1984): A távérzékelés felhasználása a mezőgazdaságban és a talajtanban, *Agrokémia és Talajtan*, 33, pp. 585–593.
- [252.] JUHOS, K., SZABO, S. & LADANYI, M. (2015): Influence of soil properties on crop yield: A multivariate statistical approach, *International Agrophysics*, (ISSN: 0236-8722), 29 (4), pp. 433–440.
- [253.] KASSAI, P. & SISÁK, I. (2018): The role of geology in the spatial prediction of soil properties in the watershed of Lake Balaton, Hungary, *Geologia Croatica*, 71 (1), pp. 29–39.
- [254.] KEESSTRA, S. D., BOUMA, K. J., WALLINGA, J., TITTONELL, P., SMITH, P., CERDÀ, A., MONTANARELLA, L., QUINTON, J. N., PACHEPSKY, Y., VAN DER PUTTEN, W. H., BARDGETT, R. D., MOOLENAAR, S., MOL, G., JANSEN, B. & FRESCO, L. O. (2016):

- The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *SOIL*, 2 (2), pp. 111–128.
- [255.] KEMPEN, B. (2011): Updating soil information with digital soil mapping. PhD Thesis, Wageningen University.
- [256.] KEMPEN, B., BRUS, D. J., HEUVELINK, G. B. M. & STOOORVOGEL, J. J. (2009): Updating the 1:50,000 Dutch soil map using legacy soil data: a multinomial logistic regression approach, *Geoderma*, 151 (3-4), pp. 311–326.
- [257.] KEMPEN, B., HEUVELINK, G. B. M., BRUS, D. J. & WALVOORT, D. J. J. (2014): Towards GlobalSoilMap.net products for The Netherlands. [In: *GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System* (EDS.: ARROUAYS, D., MCKENZIE, N., HEMPEL, J., RICHER DE FORGES, A. & MCBRATNEY, A. B.)], Taylor & Francis Group, London, 85–90.
- [258.] KEMSKI, J., SIEHL, A., STEGEMANN, R. & VALDIVIA-MANCHEGO, M. (2001): Mapping the geogenic radon potential in Germany. *Science of The Total Environment*, 272 (1-3), pp. 217–230.
- [259.] KERRY, R., GOOVAERTS, P., RAWLINS, B. G. & MARCHANT, B. P. (2012): Disaggregation of legacy soil data using area to point kriging for mapping soil organic carbon at the regional scale, *Geoderma*, 170, pp. 347–358.
- [260.] KERTÉSZ, Á. (1997): *A térinformatika és alkalmazásai*, Holnap Kiadó, Budapest.
- [261.] KERTÉSZ, M. & TÓTH, T. (1994): Soil survey based on sampling scheme adjusted to local heterogeneity, *Agrokémia és Talajtan*, 43 (1-2), pp. 113-132.
- [262.] KESHAHA, N. (2003): A survey of spectral unmixing algorithms, *Lincoln Laboratory Journal*, 14 (1), pp. 55–78.
- [263.] KESKIN H., GRUNWALD, S. (2018): Regression kriging as a workhorse in the digital soil mapper's toolbox, *Geoderma*, 326, pp. 22-41.
- [264.] KIM, J., GRUNWALD, S., OSBORNE, T. Z., ROBBINS, R., YAMATAKI, H. & RIVERO, R. G. (2012): Spatial resolution effects of remote sensing images on digital soil models in aquatic ecosystems, [In: *Digital Soil Assessments and Beyond*, (EDS.: MINASNY, B., MALONE, B. P. & MC BRATNEY, A. B.)], CRC Press, London, UK, pp. 121–125.
- [265.] KIM, M. & GILLEY, J. E. (2008): Artificial neural network estimation of soil erosion and nutrient concentrations in runoff from land application areas, *Computers and Electronics in Agriculture*, 64 (2), pp. 268–275.
- [266.] KIRKBY, M. J., IRVINE, B. J., JONES, R. J. A. & GOVERS, G. (2008): The PESERA coarse scale erosion model for Europe. I –Model rationale and implementation, *European Journal of Soil Science*, 59 (6), pp. 1293–1306.
- [267.] KLEIN TANK, A. M. G. & KÖNNEN, G. P. (2003): Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99, *Journal of Climate*, 16, pp. 3665–3680.
- [268.] KOCSIS, M., BERÉNYI ÜVEGES, J., VÁRSZEGI, G. & SISÁK, I. (2015): A MÉM NAK genetikus talajtérkép bemutatása és talajosztályozási kategóriáinak elemzése, *Agrokémia és Talajtan*, 64 (1), pp. 53-72.
- [269.] KOCSIS, M., MAKÓ, A. & FARSANG, A. (2011): Talajváltozatok termékenységbecslése talajtérképeken alapuló mintaterületi adatbázisok alapján, [In: *Szegedi Talajtani Vándorgyűlés, 2010. szeptember 3-4. Talajvédelem különszám*, (EDS.: FARSANG, A., LADÁNYI, ZS.)], Talajtani Vándorgyűlés konferencia kiadványa (ISBN: 978-963-306-089-6) Talajvédelmi Alapítvány, Gödöllő, pp. 25-33.
- [270.] KOCSIS, M., TÓTH, G., BERÉNYI ÜVEGES, J. & MAKÓ, A. (2014): Az Agrokémiai Irányítási és Információs Rendszer (AIIR) adatbázis talajtani adatainak bemutatása és térbeli reprezentativitás-vizsgálata, *Agrokémia és Talajtan*, 63 (2), pp. 223-248.
- [271.] KOHÁN, B. & SZALAI, J. (2014): Spatial analysis of groundwater level monitoring network in the Danube-Tisza Interfluvium using semivariograms, *Hungarian Geographical Bulletin*, 63 (4), pp. 379–400.
- [272.] KOLLÁNYI, L. & PRAJCZER, T. (1995): *Térinformatika a gyakorlatban*, GeoGroup Bt., Budapest.
- [273.] KONCSOS, L. & BALOGH, E. (2008): Flood disaster mitigation by inundation of the deep floodplain, In S. P. Simonovic, P. G. Bourget, & S. F. Blanchard (Eds.), *4th International Symposium on Flood Defence: Managing Flood Risk, Reliability and Vulnerability*, Toronto, Canada, CD-Paper 86.
- [274.] KONCSOS, L. (Eds.) (2011): *Jövőképtől a vízkészlet kockázatig*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Budapest, ISBN 978-963-313-060-5.
- [275.] KONCSOS, L., & KOZMA, ZS. (2012): The neural network based groundwater flow model for WateRisk, *Proceedings of the 6th IWA International Conference for Young Water Professionals*, Budapest, Hungary, (CD id: IWA-9872).
- [276.] KOVAČEVIC, M., BAJAT, B. & GAJIĆ, B. (2010): Soil type classification and estimation of soil properties using support vector machines, *Geoderma*, 154 (3-4), pp. 340–347.
- [277.] KOVÁCS, Z. & SZABÓ, SZ. (2013): Interaktív spektrum kiértékelés MS Excel környezetben – bővítmény hiperspektrális adatok feldolgozásához, [In: *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IV.* (EDS.: LÓKI, J.), Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 251–255.
- [278.] KOZMA, Z. & KONCSOS, L. (2011): Methodological Overview of a Coupled Water Resources Management Model System. [In Topping, & Tsompanakis, *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*] Stirlingshire: Civil-Comp Press. pp. 157.
- [279.] KRESSE, W. & DANKO, D. M. (Eds.) (2011): *Springer Handbook of Geographic Information*, Springer Science & Business Media.
- [280.] KREYBIG, L. (1937): A Magyar Királyi Földtani Intézet talajfelvételi, vizsgálati és térképezési módszere. [In: *Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve*], 31, pp. 147–244.
- [281.] KREYBIG, L. (1938): Általános magyarító a talajtérképekhez, Magyar Királyi Földtani Intézet, Budapest.
- [282.] LABORCZI, A. (2018): Kategória típusú talajjellemzők digitális térképezése. Doktori (Ph.D.) értekezés, Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola.
- [283.] LABORCZI, A., PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS. & DOMBOS, M. (2008): Pedological support of the landscape-ecological vegetation mapping of Hungary, *Cereal Research Communication*, 36, pp. 503–506.

- [284.] LABORCZI, A., SZATMÁRI, G., KAPOSÍ, A. D. & PÁSZTOR, L. (2018): Comparison of soil texture maps synthesized from standard depth layers with directly compiled products, *GEODERMA*, (online: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.020>).
- [285.] LAGACHERIE, P., MCBRATNEY, A. B. & VOLTZ, M. (Eds.) (2007): Digital soil mapping: an introductory perspective, *Developments in soil science*, 31.
- [286.] LAHLAOI, H., RHINANE, H., HILALI, A., LAHSSINI, S. & KHALILE, L. (2015): Potential erosion risk calculation using remote sensing and GIS in Oued El Maleh Watershed, Morocco, *Journal of Geographic Information System*, 7, pp. 128–139.
- [287.] LAL, R. (1994): Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics, prepared for Soil Management Support Services, US Department of Agriculture Soil Conservation Service, and US Agency for International Development, SMSS Technical Monograph 21, Ohio State University, Department of Agronomy, pp. 88.
- [288.] LANCASTER, N. (1995): *Geomorphology of desert dunes*. Routledge, pp. 290.
- [289.] LANDIS, J. R. & KOCH, G. G. (1977): The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33 (1), pp. 159–174.
- [290.] LÁNG, V., FUCHS, M., SZEGI, T., CSORBA, Á. & MICHÉLI, E. (2016): Deriving World Reference Base reference soil groups from the prospective global soil map product — a case study on major soil types of Africa, *Geoderma*, 263, pp. 226–233.
- [291.] LARK, R. M. (2012): Towards soil geostatistics, *Spatial Statistics*, 1, pp. 92–99.
- [292.] LARK, R. M. & FERGUSON, R. B. (2004): Mapping risk of soil nutrient deficiency or excess by disjunctive and indicator kriging, *Geoderma*, 118 (1-2), pp. 39–53.
- [293.] LAUSCH, A., SCHÜTZE, C., SIEMON, B., ZACHARIAS, S. & WERBAN, U. (2014): Analysis of vegetation heterogeneity as sensor for soil moisture patterns using remote sensing, [In: Proc. 7th International Congress on Environmental Modelling and Software (EDS.: AMES, D. P., QUINN, N. W. T. & RIZZOLI, A. E. et al.)], International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), San Diego, California, 1, pp. 525–532.
- [294.] LEE, G. S. & LEE, K. H. (2006): Application of fuzzy representation of geographic boundary to the soil loss model, *Hydrology and Earth System Sciences, Discuss* 3(1), pp. 115–133.
- [295.] LEENHARDT, D., VOLTZ, M., BORNAND, M. & WEBSTER, R. (1994): Evaluating soil maps for prediction of soil water properties, *European Journal of Soil Science*, 45 (3), pp. 293–301.
- [296.] LEGROS, J.-P. (2006): *Mapping of the Soil*. Science Publishers.
- [297.] LI, J. & HEAP, A. D. (2008): A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists, *Geoscience Australia*, 2008/23.
- [298.] LI, S., QIU, J., YANG, X., LIU, H., WAN, D. & ZHU, Y. (2014): A novel approach to hyperspectral band selection based on spectral shape similarity analysis and fast branch and bound search, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 27, pp. 241–250.
- [299.] LI, Z. & HUANG, P. (2002): Quantitative measures for spatial information of maps, *International Journal of Geographical Information System*, 16 (7), pp. 699–709.
- [300.] LI, Z., ZHU, Q. & GOLD, C. (2005): *Digital Terrain Modelling: Principles and Methodology*. CRC Press. Boca Raton.
- [301.] LICZNAR, P. & NEARING, M. A. (2003): Artificial neural networks of soil erosion and runoff prediction at the plot scale, *CATENA*, 51 (2), pp. 89–114.
- [302.] LIEß, M., GLASER, B. & Huwe, B. (2012): Uncertainty in the spatial prediction of soil texture: comparison of regression tree and random forest models, *Geoderma*, 170, pp. 70–79.
- [303.] LILLESAND, T. M. & KIEFER, R. W. (1987): *Remote Sensing and Image Interpretation*, Chichester: John Wiley & Sons.
- [304.] LINHART, H. & ZUCCHINI, W. (1986): *Model selection*, Wiley, New York.
- [305.] LIU, F., ROSSITER, D. G., SONG, X.-D., ZHANG, G.-L., YANG, R.-M., ZHAO, Y.-G., LI, D.-C. & JU, B. (2016): A similarity-based method for three-dimensional prediction of soil organic matter concentration, *Geoderma*, 263, pp. 254–263.
- [306.] LÓKI, J. (2012): Aeolian processes. [In: *Recent landform Evolution: The Carpatho-Balkan-Dinaric Region*, (EDS.: Lóczy, D., Stankoviansky, M. & Kotarba, A.)] Springer, pp. 205–247.
- [307.] LONGLEY, P. A. & BATTY, M. (2003): *Advanced spatial analysis*. ESRI Press. Redlands.
- [308.] LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J. & RHIND, D. W. (Eds.) (1999): *'Geographical Information Systems, Principles and Technical Issues'*, Wiley, London.
- [309.] LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J. & RHIND, D. W. (Eds.) (2010): *'Geographic Information Systems and Science'*, Wiley, London.
- [310.] LÓPEZ, M. V., SABRE, M., GRACIA, R., ARRÚE, J. L. & GOMES, L. (1998): Tillage effects on soil surface conditions and dust emission by wind erosion in semiarid Aragon (NE Spain), *Soil & Tillage Research*, 45 (1-2), pp. 91–105.
- [311.] LORENZETTI, R., BARBETTI, R., FANTAPPIÈ, M., L'ABATE, G. & COSTANTINI, E. A. C. (2015): Comparing data mining and deterministic pedology to assess the frequency of WRB reference soil groups in the legend of small scale maps, *Geoderma*, 237–238, pp. 237–245.
- [312.] LOUIS, B. P., SABY, N. P. A., ORTON, T. G., LACARCE, E., BOULONNE, L., JOLIVET, C., RATIÉ, C. & ARROUAYS, D. (2014): Statistical sampling design impact on predictive quality of harmonization functions between soil monitoring networks, *Geoderma*, 213, pp. 133–143.
- [313.] MACHANDA, M. L., KUDRAT, M. & TIWARI, A. K. (2002): Soil survey and mapping using remote sensing, *Tropical Ecology*, 43 (1), pp. 61–74.
- [314.] MAGUIRE, D. J. (1991): *'Geographical Information Systems: principles and application'*, Longman, London.

- [315.] MAGYARI, J. (2005): Térinformatikai módszerek alkalmazása az agrár-környezet-gazdálkodás és vidékfejlesztés területén. Doktori értekezés, SZIE KTI, Gödöllő.
- [316.] MALLAVAN, B. P., MINASNY, B. & MCBRATNEY, A. B. (2010): Homosoil, a methodology for quantitative extrapolation of soil information across the Globe. [In: Digital Soil Mapping Bridging Research Environmental Application, and Operation. (EDS.: Boettinger, J. L., Howell, D. W., Moore, A. C., Hartemink, A. E., Kienast-Brown, S.)], Springer, Dordrecht, pp. 137–150.
- [317.] MALONE, B. P., JHA, S. K., MINASNY, B. & MCBRATNEY, A. B. (2016): Comparing regression-based digital soil mapping and multiple-point geostatistics for the spatial extrapolation of soil data, *Geoderma*, 262, pp. 243–253.
- [318.] MALONE, B. P., ODGRES, N. P., STOCKMANN, U., MINASNY, B. & MCBRATNEY, A. B. (2018): Chapter 12. Digital mapping of soil classes and continuous soil properties. [In: *Pedometrics*, (Eds.: MCBRATNEY, A., MINASNY, B., STOCKMANN, U.)], Springer, Cham, pp. 373–413.
- [319.] MARINONI, O. (2003): Improving geological models using a combined ordinary-indicator-kriging approach, *Engineering Geology*, 69 (1-2), pp. 37–45.
- [320.] MARK, D. M. (2003): Geographic information science: Defining the field. [In: *Foundations of Geographic Information Science*, (EDS.: DUCKHAM, M., GOODCHILD, M. F. & WORBOYS, M. F.)], Taylor and Francis, London and New York, pp. 1–18.
- [321.] MARK, D. M. & CSILLAG, F. (1989): The nature of boundaries on 'area-class' maps, *Cartographica*, 26 (1), pp. 65–78.
- [322.] MÁRKUS, B. & WOJTASZEK, M. (1993): A talajerózió becslése, *Vízügyi Közlemények*, 75 (2), pp. 192–200.
- [323.] MARTIN, M. P., ORTON, T. G., LACARCE, E., MEERSMANS, J., SABY, N. P. A., PAROISSIEN, J. B., JOLIVET, C., BOULONNE, L. & ARROUAYS, D. (2014): Evaluation of modelling approaches for predicting the spatial distribution of soil organic carbon stocks at the national scale, *Geoderma*, 223–225, pp. 97–107.
- [324.] MASSER, I. (2005): *GIS Worlds: Creating Spatial Data Infrastructures*. ESRI Press, Redlands, CA, USA.
- [325.] MÁTÉ, F. (1960): Megjegyzések a talajok termékenységük szerinti osztályozásához, *Agrokémia és Talajtan*, 9, pp. 419–426.
- [326.] MÁTÉ, F. & TÓTH, G. (2004): Az aranykoronától a D-e-Meter számokig. [In: *Földminősítés és földhasználati információ a mezőgazdaság versenyképességének javításáért*, 2003. december 11–12. : országos konferencia kiadványa. (EDS.: GAÁL, Z., MÁTÉ, F. & TÓTH, G.)] Veszprémi Egyetem, pp. 145–152.
- [327.] MÁTÉ, F., STEFANOVITS, P. & SZABOLCS, I. (1989): FAO talajtérkép. [In: *Talajok*. (EDS.: VÁRALLYAY, GY. & ZILAHY, P.); In: *Magyarország Nemzeti Atlasza* (EDS.: PÉCSI, M., ET AL.)]
- [328.] MATHERON, G. (1963): Principles of geostatistics, *Economic Geology*, 58 (8), pp. 1246–1266.
- [329.] MATHERON, G. (1971): *The Theory of Regionalized Variables and Its Applications*. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, Párizs.
- [330.] MCBRATNEY, A. B. & DE GRUJTER, J. J. (1992): A continuum approach to soil classification by modified fuzzy k-means with extragrades, *Journal of Soil Science*, 43 (1), pp. 159–175.
- [331.] MCBRATNEY, A. B. & ODEH, I. O. A. (1997): Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions, *Geoderma*, 77 (2-4), pp. 85–113.
- [332.] MCBRATNEY, A. B. & WEBSTER, R. (1983): Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: V. Co-regionalization and multiple sampling strategy, *Journal of Soil Science*, 34 (1), pp. 137–162.
- [333.] MCBRATNEY, A. B., FIELD, D. J. & KOCH, A. (2014): The dimensions of soil security, *Geoderma*, 213, pp. 203–213.
- [334.] MCBRATNEY, A. B., MENDONÇA SANTOS, M. L. & MINASNY, B. (2003): On digital soil mapping. *Geoderma*, 117 (1–2), pp. 3–52.
- [335.] MCBRATNEY, A. B., ODEH, I. O. A., BISHOP, T. F. A., DUNBAR, M. & SHATAR, T. M. (2000): An overview of pedometric techniques for use in soil survey, *Geoderma*, 97 (3-4), pp. 293–327.
- [336.] MCKENZIE, N. J. & RYAN, P. J. (1999): Spatial prediction of soil properties using environmental correlation, *Geoderma*, 89 (1–2), pp. 67–94.
- [337.] MEINSHAUSEN, N. (2006): Quantile Regression Forests, *Journal of Machine Learning Research*, 7, pp. 983–999.
- [338.] MELENDEZ-PASTOR, I., NAVARRO-PEDREÑO, J., GÓMEZ, I. & KOCH, M. (2008): Identifying optimal spectral bands to assess soil properties with VNIR radiometry in semi-arid soils, *Geoderma*, 147 (3-4), pp. 126–132.
- [339.] MÉLYKÚTI, G. (2010): Digitális topográfiai térképezés alapfogalmai, *Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar*.
- [340.] MENEZES, M. D., SILVA, S. H. G., OWENS, P. R. & CURI, N. (2013): Digital soil mapping approach based on fuzzy logic and field expert knowledge, *Ciência e Agrotecnologia*, 37 (4), pp. 287–298.
- [341.] MET 2016: [http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/altalanos\\_eghajlati\\_jellemzes/szel/](http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/)
- [342.] METTERNICHT, G. I. & ZINCK, J. A. (2003): Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints, *Remote Sensing of Environment*, 85 (1), pp. 1–20.
- [343.] MEUL, M. & VAN MEIRVENNE, M. (2003): Kriging soil texture under different types of nonstationarity, *Geoderma*, 112 (3-4), pp. 217–233.
- [344.] MEZŐSI, G., BLANKA, V., BATA, T., KOVÁCS, F. & MEYER, B. (2015): Estimation of regional differences in wind erosion sensitivity in Hungary, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15, pp. 97–107.
- [345.] MICHÉLI, E. (2011): Expression of soil-forming processes in soil classifications based on diagnostic principles. [In Hungarian], *Agrokémia és Talajtan*, 60 (1), pp. 17–32.
- [346.] MICHÉLI, E., FUCHS, M., HEGYMEGI, P. & STEFANOVITS, P. (2006): Classification of the Major Soils of Hungary and their Correlation with the World Reference Base for Soil Resources (WRB), *Agrokémia és Talajtan*, 55 (1), pp. 19–28.



- [347.] MICHÉLI, E., FUCHS, M., LÁNG, V., SZEGI, T. & SZABÓNÉ KELE, G. (2014): Methods for modernizing the elements and structure of the Hungarian Soil Classification System, *Agrokémia és Talajtan*, 63 (1), pp. 69-78.
- [348.] MICHÉLI, E., FUCHS, M., LÁNG, V., SZEGI, T., DOBOS, E. & SZABÓNÉ KELE, G. (2015): Javaslat talajosztályozási rendszerünk megújítására: alapelvek, módszerek, alapegységek, *Agrokémia és Talajtan*, 64 (1), pp. 285-297.
- [349.] MICHÉLI, E., STEFANOVITS, P. & FENYVESI, L. (1988): Reflectance properties of artificially prepared organo-mineral complexes. [In: *Remote Sensing is a Tool for Soil Scientists. 5th Symposium of the Remote Sensing Working Group.* (EDS.: JUHÁSZ, I.), MAE, Budapest, pp. 172-177.
- [350.] MILLER, B. A. & SCHAEZTL, R. J. (2014): The historical role of base maps in soil geography, *Geoderma*, 230-231, pp. 329-339.
- [351.] MINASNY, B. & MCBRATNEY, A. B. (2006): A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information, *Computers & Geosciences*, 32 (9), pp. 1378-1388.
- [352.] MINASNY, B. & MCBRATNEY, A. B. (2007): Spatial prediction of soil properties using EBLUP with the Matérn covariance function, *Geoderma*, 140 (4), pp. 324-336.
- [353.] MINASNY, B. & MCBRATNEY, A. B. (2010): Methodologies for Global Soil Mapping. [In: *Digital Soil Mapping.* (EDS.: BOETTINGER, J. L., HOWELL, D. W., MOORE, A. C., HARTEMINK, A. E. & KIENAST-BROWN, S.), Springer, Netherlands, Dordrecht, 2, pp. 429 - 436.
- [354.] MINASNY, B. & MCBRATNEY, A. B. (2016): Digital soil mapping: A brief history and some lessons, *Geoderma*, 264 (Part B), pp. 301-311.
- [355.] MINASNY, B., MALONE, B. P. & MCBRATNEY, A. B. (Eds.) (2012): *Digital Soil Assessments and Beyond.* Taylor and Francis Group, London, pp. 466.
- [356.] MINASNY, B., MCBRATNEY, A. B., PICHON, L., SUN, W. & SHORT, M. G. (2009): Evaluating near infrared spectroscopy for field prediction of soil properties, *Australian Journal of Soil Research*, 47 (7), pp. 664-673.
- [357.] MITAS, L. & MITASOVA, H. (2005): Spatial Interpolation. [In: *Geographic Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications.* (EDS.: LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J. & RHIND, D. W.), Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2nd Edition, 1 (2), Chapter 34.
- [358.] MOLNÁR, ZS., BARTHA, S., SEREGÉLYES, T., ILLYÉS, E., BOTTA-DUKÁT, Z., TÍMÁR, G., HORVÁTH, F., RÉVÉSZ, A., KUN, A., BÖLÖNI, J., BIRÓ, M., BODONCZI, L., DEÁK JÓZSEF, Á., FOGARASI, P., HORVÁTH, A., ISÉPY, I., KARAS, L., KECSKÉS, F., MOLNÁR, CS., ORTMANN-NÉ AJKAI, A. & RÉV, S. (2007): A grid-based, satellite-image supported, multi-attributed vegetation mapping method (MÉTA). *Folia Geobotanica*, 42 (3), pp. 225-247.
- [359.] MOORE, I. D., GRAYSON, R. B. & LADSON, A. R. (1991): Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications, *Hydrological Processes*, 5 (1), pp. 3-30.
- [360.] MORAN, C. J. & BUI, E. N. (2002): Spatial data mining for enhanced soil map modelling, *International Journal of Geographical Information Science*, 16 (6), pp. 533-549.
- [361.] MUCSI, L. & HENITS, L. (2010): Creating excess water inundation maps by sub-pixel classification of medium resolution satellite images, *Journal Of Environmental Geography*, 3 (1-4), pp. 31-40.
- [362.] MUELLER, L., SCHINDLER, U., MIRSCHEL, W., SHEPHERD, T. G., BALL, B. C., HELMING, K., ROGASIK, J., EULENSTEIN, F. & WIGGERING, H. (2010): Assessing the productivity function of soils. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 30 (3), pp. 601-614.
- [363.] MULDER, V. L., DE BRUIN, S. & SCHAEPMAN, M. E. (2013): Representing major soil variability at regional scale by constrained Latin Hypercube Sampling of remote sensing data, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, pp. 301-310.
- [364.] MULDER, V. L., DE BRUIN, S., SCHAEPMAN, M. E. & MAYR, T. R. (2011): The use of remote sensing in soil and terrain mapping - A review, *Geoderma*, 162 (1-2), pp. 1-19.
- [365.] MULDER, V. L., LACOSTE, M., MARTIN, M. P., RICHER-DE-FORGES, A. & ARROUAYS, D. (2015): Understanding large-extent controls of soil organic carbon storage in relation to soil depth and soil-landscape systems, *Global Biogeochemical Cycles*, 29 (8), pp. 1210-1229.
- [366.] MULDER, V. L., LACOSTE, M., RICHER-DE-FORGES, A. C. & ARROUAYS, D. (2016): GlobalSoilMap France: high-resolution spatial modelling the soils of France up to two meter depth, *Science of the Total Environment*, 573, pp. 1352-1369.
- [367.] MULDER, M. A. (1987): *Remote Sensing in Soil Science, Development in Soil Science*, Elsevier, The Netherlands, 15.
- [368.] MYERS, D. E. (1989): To be or not to be... Stationary? That is the question, *Mathematical Geology*, 21 (3), pp. 347-362.
- [369.] NAGY, I. & TAMÁS, J. (2005): Cukorrépa (*Beta vulgaris* L.) termelési kvóták denzitásának optimalizálása pontszerű geostatistikai módszerekkel, *Agrártudományi Közlemények*, 18, pp. 46-50.
- [370.] NATALE, E. & PETACCIA, G. (2013): "ORSADEM: a one dimension shallow water code for flood inundation modelling, *Journal of Irrigation and drainage*, 62(S2), pp. 29-40.
- [371.] NAUMAN, T. W. & THOMPSON, J. A. (2014): Semi-automated disaggregation of conventional soil maps using knowledge driven data mining and classification trees, *Geoderma*, 213, pp. 385-399.
- [372.] NÉGYESI, G., LÓKI, J., BURÓ, B. & SZABÓ, SZ. (2016): Effect of soil parameters on the threshold wind velocity and maximum eroded mass in a dry environment, *ARABIAN JOURNAL OF GEOSCIENCES*, 9, pp. 588-598.
- [373.] NÉGYESI, G., LÓKI, J., BURÓ, B., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS. & PÁSZTOR, L. (2015): The potential wind erosion map of an area covered by sandy and loamy soils - based on wind tunnel measurements, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 59 (1), pp. 59-77.

- [374.] NEMES A., WÖSTEN, J. H. M., LILLY A. & OUDE VOSHAAR J. H. (1999): Evaluation of different procedures to interpolate particle-size distributions to achieve compatibility within soil databases, *Geoderma*, 90 (3-4), pp. 187-202.
- [375.] NÉMETH, T., NEMÉNYI, M. & HARNOS, ZS. (Eds.) (2007): A precíziós mezőgazdaság módszertana. JATEPress, Szeged, MTA TAKI.
- [376.] NÉMETH, T., STEFANOVITS, P. & VÁRALLYAY, GY. (2005): Talajvédelem. Országos Talajvédelmi Stratégia tudományos háttere. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest.
- [377.] NETTLETON, W. D., BRASHER, B. R. & BORST, G. (1991): The taxadjunct problem, *Soil Science Society of America Journal*, 55 (2), pp. 421-427.
- [378.] NEZNAL, M., NEZNAL, M., MATOLÍN, M., BARNET, I. & MIKSOVA, J. (2004): The New Method for Assessing the Radon Risk of Building Sites, *Czech Geological Survey Special Papers* 16. Prague (<http://www.radon-vos.cz/pdf/metodika.pdf>).
- [379.] NORTCLIFF, S. (1978): Soil variability and reconnaissance soil mapping. A statistical study in Norfolk, *Journal of Soil Science*, 29 (3), pp. 403-418.
- [380.] ODEH, I. O. A., MCBRATNEY, A. B. & CHITTLEBOROUGH, D. J. (1994): Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from a digital elevation model, *Geoderma*, 63 (3-4), pp. 197-214.
- [381.] ODEH, I. O. A., MCBRATNEY, A. B. & CHITTLEBOROUGH, D. J. (1995): Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression-kriging, *Geoderma*, 67 (3-4), pp. 215-226.
- [382.] ODGERS, N. P., SUN, W., MCBRATNEY, A. B., MINASNY, B. & CLIFFORD, D. (2014): Disaggregating and harmonising soil map units through resampled classification trees, *Geoderma*, 214-215, pp. 91-100.
- [383.] ODGERS, N. P., ZAMIR, LIBOHOVA, Z. & JAMES, A. T. (2012): Equal-area spline functions applied to a legacy soil database to create weighted-means maps of soil organic carbon at a continental scale, *Geoderma*, 189-190, pp. 153-163.
- [384.] ODONGO, V. O., ONYANDO, J. O., MUTUA, B. M., VAN OEL, P. R. & BECHT, R. (2013): Sensitivity analysis and calibration of the Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) for the upper Malewa Catchment, Kenya, *International Journal of Sediment Research*, 28(3), pp. 368-383.
- [385.] OERTLI, J. J. & RAJKAI, K. (1988): Spatial variability of soil properties and plant coverage on alkali soils of the Hungarian Puszta. [In: Proc. of the International Symposium on Solonchaks Soil: Problems, Properties, Utilization (EDS.: ADAM, M., SZABOLCS, I., MILJKOVIC, N. & PLAMENAC, N.)], Yugoslav Society of Soil Science, Osijek, pp. 156-161.
- [386.] OLDEMAN, L. R., HAKKELING, R. T. A. & SOMBROEK, W. G. (1991): World map of the status of human-induced soil degradation: An explanatory note. Wageningen, the Netherlands and Nairobi, Kenya, International Centre and United Nations Environment Programme.
- [387.] OLIVER, M. A. & KHAYRAT, A. L. (2001): A geostatistical investigation of the spatial variation of radon in soil, *Computers & Geosciences*, 27 (8), pp. 939-957.
- [388.] OLIVER, M. A., & WEBSTER, R. (1986): Combining nested and linear sampling for determining the scale and form of spatial variation of regionalized variables, *Geographical Analysis*, 18 (3), pp. 227-242.
- [389.] OLIVER, M. A. & WEBSTER, R. (2014): A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging, *Catena*, 113, pp. 56-69.
- [390.] OMAM, M. A. & TORKAMINI-AZAR, F. (2010): Band selection of hyperspectral-image based weighted independent component analysis, *Optical Review*, 17 (4), pp. 367-370.
- [391.] OMUTO, C., NACHTERGAELE, F. & ROJAS, R. V. (2013): State of the Art Report on Global and Regional Soil Information: Where are we? Where to go? Global Soil Partnership Technical Report. Rome: FAO.
- [392.] ORR, B. J., COWIE, A. L., CASTILLO SANCHEZ, V. M., CHASEK, P., CROSSMAN, N. D., ERLEWEIN, A., LOUWAGIE, G., MARON, M., METTERNICHT, G. I., MINELLI, S., TENGBERG, A. E., WALTER, S. & WELTON, S. (2017): Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany.
- [393.] PACHEPSKY, Y. A., TIMLIN, D. & VARALLYAY, G. (1996): Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data, *Soil Science Society of America Journal* 60 (3), pp. 727-733.
- [394.] PAHLAVAN RAD, R. M., TOOMANIAN, N., KHORMALI, F., BRUNGARD, C. W., KOMAKI, C. B., & BOGAERT, P. (2014): Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran, *Geoderma*, 232-234, pp. 232-234.
- [395.] PÁLFAI, I. (1994): Az Alföld belvív-veszélyeztetettségi térképe, *Vízügyi Közlemények*, 76 (3), pp. 278-290.
- [396.] PÁLFAI, I. (2001): A belvív definíciói, *Vízügyi Közlemények*, 83 (3), pp. 376-392.
- [397.] PÁLFAI, I. (2003): Magyarország belvív-veszélyeztetettségi térképe, *Vízügyi közlemények*, 85 (3), pp. 510-524.
- [398.] PÁLFAI, I. (2006): Belvízgyakorlás és belvízkárok Magyarországon, *Hidrológiai Közöny*, 86 (5), pp. 25-26.
- [399.] PÁLFAI, I., BOZÁN, CS., HERCEG, Á., KOZÁK, P., KÖRÖSPARTI, J., KUTI, L. & PÁSZTOR, L. (2004): Komplex Belvív-veszélyeztetettségi Mutató (KBM) és Csongrád megye ez alapján szerkesztett belvízveszélyeztetettségi térképe. [In: II. Magyar Földrajzi Konferencia, CD-ROM (ISBN 963-482-687-3) (EDS.: BARTON, G., DORMÁNY, G.)], Szegedi Tudományegyetem, TTK, Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék.
- [400.] PANAGOS, P. (2006): The European soil database, *GEO: connexion*, 5 (7), pp. 32-33.
- [401.] PANAGOS, P., MEUSBURGER, K., BALLABIO, C., BORRELLI, P. & ALEWELL, C. (2014): Soil erodibility in Europe: a high-resolution dataset based on LUCAS, *Science of the Total Environment*, 479-480, pp. 189-200.
- [402.] PANAGOS, P., VAN LIEDEKERKE, M., JONES, A. & MONTANARELLA, L. (2012): European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy*, 29(2), pp. 329-338.
- [403.] PANG-NING T., STEINBACH, M. & KUMAR, V. (2005): Introduction to Data Mining, Addison-Wesley.

- [404.] PÁSZTOR, L. & CSILLAG, F. (1995): Reduction of high resolution spectra; Application to characterization of salinity status of soils, In: *Sensors and Environmental Applications of Remote Sensing. Proc. 14th EARSeL Symposium*, Balkema, Rotterdam. (Ed.: ASKNE, J.) pp. 393–397.
- [405.] PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS. & SZABÓ, J. (2011): Spatio-temporal integration of soil data originating from different sources for the estimation of national carbon stock in Hungary, *Geophysical Research Abstracts*, 13, EGU2011-10960.
- [406.] PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., LABORCZI, A. & SZABÓ, J. (2013d): Kategória típusú talaj térképek térbeli felbontásának javítása kiegészítő talajtani adatok és adatbányászati módszerek segítségével, *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN*, 62 (2), pp. 205-218.
- [407.] PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., SZABÓ, J. & LABORCZI, A. (2013a): Célspecifikus digitális talaj térképek előállítása adatbányászati eszközök felhasználásával. [In: *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában*, (EDS.: LÓKI, J.)], IV.: Térinformatika Konferencia és Szakkiállítás. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 315-324.
- [408.] PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., VASS-MEYNDT, SZ., LABORCZI, A., SIEGLERNÉ MATUS, J. & SZABÓ, J. (2013b): A Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer továbbfejlesztésének irányai és eredményei. [In: *Talajtan a mezőgazdaság, a vidékfejlesztés és a környezetgazdálkodás szolgálatában* (EDS.: DOBOS, E., BERTÓTI, R. D., SZABÓNÉ KELE, G.)], Talajtani Vándorgyűlés. Talajvédelmi Alapítvány, Magyar Talajtani Társaság, Budapest, pp. 399-406.
- [409.] PÁSZTOR, L., BELÉNYESI, M., LABORCZI, A., KRISTÓF, D., SZATMÁRI, G. & PATAKI, R. (2018a): Természetes és természetközeli élőhelyek termőhelyi viszonyainak modellezése adatbányászati módszerekkel. [In: *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában*, (EDS.: Molnár, V.)], Debreceni Egyetemi Kiadó, pp. 277-278.
- [410.] PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., BAKACSI, ZS., SZABÓ, J. & ILLÉS, G. (2018c): Compilation of a national soil-type map for Hungary by sequential classification methods, *GEODERMA*, 311 (1), pp. 93-108.
- [411.] PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., BAKACSI, ZS. & SZABÓ, J. (2016a): Variations for the Implementation of SCORPAN's "S". [In: *Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries*, (EDS.: Zhang, G. L., Brus, D., Liu, F., Song, X. D. & Lagacherie, P.)]. Springer Environmental Science and Engineering. Springer, Singapore, pp. 331-342.
- [412.] PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., BAKACSI, ZS., SZABÓ, J. & ILLÉS, G. (2018b): DOSoReMI as the national implementation of GlobalSoilMap for the territory of Hungary. [In: *GlobalSoilMap - Digital Soil Mapping from Country to Globe*, (EDS.: ARROUAYS, D., SAVIN, I., LEENAARS, J., MCBRATNEY, A. B.)], CRC Press, London, 2018. Paper 10.1201/9781351239707-4. pp. 6.
- [413.] PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., DOBOS, E., ILLÉS, G., BAKACSI, ZS. & SZABÓ, J. (2015): Compilation of novel and renewed, goal oriented digital soil maps using geostatistical and data mining tools, *Hungarian Geographical Bulletin*, 64 (1), pp. 49-64.
- [414.] PÁSZTOR, L., LABORCZI, A., TAKÁCS, K., SZATMÁRI, G., FODOR, N., ILLÉS, G., FARKAS-IVÁNYI, K., BAKACSI, ZS. & SZABÓ, J. (2017): Chapter 9 - Compilation of Functional Soil Maps for the Support of Spatial Planning and Land Management in Hungary. [In: *Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management*, (EDS.: PEREIRA, P., BREVIK, E. C., MUÑOZ-ROJAS, M. & MILLER, B. A.)]. Elsevier, Atlanta (GA), pp. 293-317.
- [415.] PÁSZTOR, L., PÁLFAL, I., BOZÁN, CS., KÖRÖSPARTI, J., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS. & KUTI L. (2006c) Spatial stochastic modelling of inland inundation hazard [In: *Shaping the future of Geographic Information Science in Europe: Proceedings of 9th AGILE Conference* (EDS.: SUAREZ, J., MARKUS, B.)]. Székesfehérvár: College of Geoinformatics, University of West Hungary, pp. 139-143.
- [416.] PÁSZTOR, L., PÁLFAL, I., BOZÁN, CS., KÖRÖSPARTI, J., BAKACSI, ZS., & SZABÓ, J. (2009): Quantifying and mapping lowland excess water hazard, *Advances in GeoEcology*, 40, (EDS.: FAZ CANO, A., MERMUT, A. R., AROCENA, J. M., ORTIZ SILLA, R.), *Land Degradation and Rehabilitation – Dryland Ecosystems*, pp. 185-190.
- [417.] PÁSZTOR, L., SZABÓ, J. & BAKACSI, ZS. (2002): GIS processing of large scale soil maps in Hungary, *Agrokémia és Talajtan*, 51 (1-2), pp. 273-282.
- [418.] PÁSZTOR, L., SZABÓ, J. & BAKACSI, ZS. (2006a): Válasz Tóth Gergely és Máté Ferenc megjegyzéseire "Egy országos, átnézetes, térbeli talajinformációs rendszer kiépítésének igénye, lehetősége és lépései" közleményünk kapcsán, *Agrokémia és Talajtan*, 55 (2), pp. 479-486.
- [419.] PÁSZTOR, L., SZABÓ, J. & BAKACSI, ZS. (2010a): Digital processing and upgrading of legacy data collected during the 1:25.000 scale Kreybig soil survey, *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 45 (1), pp. 127-136.
- [420.] PÁSZTOR, L., SZABÓ, J. & BAKACSI, ZS. (2010b): Application of the Digital Kreybig Soil Information System for the delineation of naturally handicapped areas in Hungary, *Agrokémia és Talajtan*, 59 (1), pp. 47-56.
- [421.] PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS., CSÖKLI, G. & ZÁGONI, B. (2001): 1:25.000-es méretarányú talajtani-földrajzi mintázat az ország egyes területein a Kreybig Digitális Talajinformációs Rendszer alapján. [In: *A földrajz eredményei az új évezred küszöbén: A Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei*, (EDS.: DORMÁNY, G., KOVÁCS, F., PÉTI, M., RAKONCZAI, J.)], Szegedi Tudományegyetem TTK Természeti Földrajzi Tanszék, Szeged.
- [422.] PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS. & LABORCZI, A. (2013c): Elaboration and applications of spatial soil information systems and digital soil mapping at the Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, *Geocarto International*, 28 (1), pp. 13–27.
- [423.] PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS., DOMBOS M. & LÁSZLÓ, P. (2007): A Kreybig Digitális Talajinformációs Rendszer alkalmazása térségi szintű földhasználati kérdések megoldásában, *ACTA AGRARIA KAPOSVÁRIENSIS*, 11 (2), pp. 26-40.
- [424.] PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS., MATUS, J. & LABORCZI, A. (2012): Compilation of 1:50,000 scale digital soil maps for Hungary based on the digital Kreybig soil information system, *Journal of Maps*, 8 (3), pp. 215-219.

- [425.] PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS., LABORCZI, A., DOBOS, E., ILLÉS, G. & SZATMÁRI, G. (2014): Elaboration of novel, countrywide maps for the satisfaction of recent demands on spatial, soil related information in Hungary. [In: *GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system*, (EDS.: ARROUAYS, D, MCKENZIE, N, HEMPEL, J, DEFORGES, A. C. R., MCBRATNEY, A. B.), CRC Press - Taylor and Francis Group, Boca Raton (FL), pp. 207-212.
- [426.] PÁSZTOR, L., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS., LÁSZLÓ, P. & DOMBOS, M. (2006b): Large-scale soil maps improved by digital soil mapping and GIS-based soil status assessment, *Agrokémia és Talajtan*, 55 (1), pp. 79-88.
- [427.] PÁSZTOR, L., SZABÓ, K. ZS., SZATMÁRI, G., LABORCZI, A. & HORVÁTH, Á. (2016b): Mapping geogenic radon potential by regression kriging, *Science of the Total Environment*, 554, pp. 883-891.
- [428.] PATEL, R. M., PRASHER, S. O., GOD, P. K. & BASSI, R. (2002): Soil salinity prediction using artificial neural networks, *Journal of the American Water Resources Association*, 38 (1), pp. 91-100.
- [429.] PATIL, G. P. (2002): Composite sampling. [In: *Encyclopedia of Environmetrics*, (EDS.: EL-SHAARAWI, A. H. & PIEGORSCH, W. W.), 1, John WILEY & Sons, Chichester, pp. 387 – 391.
- [430.] PEBESMA, E. J. (2006): The Role of External Variables and GIS Databases in Geostatistical Analysis, *Transactions in GIS*, 10(4), pp. 615-632.
- [431.] PEREIRA, P., BREVIK, E. C., OLIVA, M., ESTEBARANZ, F., DEPELLEGRIN, D., NOVARA, A., CERDÀ, A. & MENSCHOV, O. (2017): Goal oriented soil mapping: applying modern methods supported by local knowledge. [In: *Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management*. (EDS.: PEREIRA, P., BREVIK, E. C., MUNOZ-ROJAS, M. & MILLER, B. A.), Elsevier, pp. 61-83.
- [432.] PEQUQUET, D. J. (1988): Representations of geographic space: towards a conceptual synthesis, *Annals of the Association of American Geographers*, 78 (3), pp. 375-394.
- [433.] PIERPAOLI, E., CARLI, G., PIGNATTI, E. & CANAVARI, M. (2013): Drivers of Precision Agriculture Technologies Adoption: A Literature Review, *Procedia Technology*, 8, pp. 61 – 69.
- [434.] PODMANICZKY, L., ILLÉS, G., KOVÁCS, G., HEIL, B., LOKSA, G., PÁSZTOR, L., SKUTAI, J., SZABÓ, J. & SCHNELLER, K. (2015): „A kiváló és jó termőhelyi adottságú szántóterületek övezete, valamint az erdőtelepítésre javasolt területek övezete Országos Területrendezési Terv szerinti térségi tervezési kategóriák lehatárolása” című, FF/991/10/2014. iktatószámú feladat szakmai jelentése (II. fázis), Megbízó: Földművelésügyi Minisztérium. Gödöllő.
- [435.] PODMANICZKY, L. & MAGYARI, J. (2006): Magyarország ökotípusos földhasználati vizsgálata. – készült az Állami Erdészeti Szolgálat megbízásából, Gödöllő.
- [436.] PODMANICZKY, L., VOGT, J., SCHNELLER, K. & ÁNGYÁN, J. (2007): Land suitability assessment methods for developing a European Land Information System for Agriculture and Environment (ELISA). [In: *Multifunctional Land Use*, (EDS.: MANDER, Ü., WIGGERING, H. & HELMIND, K.), Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 225-250.
- [437.] POGGIO, L. & GIMONA, A. (2014): National scale 3D modelling of soil organic carbon stocks with uncertainty propagation – An example from Scotland, *Geoderma*, 232-234, pp. 284-299.
- [438.] POGGIO, L. & GIMONA, A., (2017): 3D mapping of soil texture in Scotland, *Geoderma Regional*, 9, pp. 5-16.
- [439.] POGGIO, L., GIMONA, A. & BREWER, M. J. (2013): Regional scale mapping of soil properties and their uncertainty with a large number of satellite-derived covariates, *Geoderma*, 209-210, pp. 1-14.
- [440.] POGGIO, L., GIMONA, A., BROWN, I. & CASTELLAZZI, M. (2010): Soil available water capacity interpolation and spatial uncertainty modelling at multiple geographical extents, *Geoderma*, 160 (2), pp. 175-188.
- [441.] POGGIO, L., GIMONA, A., SPEZIA, L. & BREWER, M. J. (2016a): Bayesian spatial modelling of soil properties and their uncertainty: the example of soil organic matter in Scotland using R-INLA, *Geoderma*, 277, pp. 69-82.
- [442.] POGGIO, L., GIMONA, A., SPEZIA, L. & BREWER, M. J. (2016b): Example of Bayesian Uncertainty for Digital Soil Mapping. [In: *Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries*. Springer Environmental Science and Engineering. (EDS.: ZHANG, G. L., BRUS, D., LIU, F., SONG, X. D. & LAGACHERIE, P.)] Springer, Singapore, pp. 181-193.
- [443.] PRIORI, S., BIANCONI, N. & CONSTANTINI, E. A. C. (2014): Can  $\gamma$ -radiometrics predict soil textural data and stoniness in different parent materials? A comparison of two machinelearning methods, *Geoderma*, 226-227, pp. 354-364.
- [444.] QI, F., ZHU, A.-X., HARROWER, M. & BURT, J. E. (2006): Fuzzy soil mapping based on prototype category theory, *Geoderma*, 136 (3-4), 2006, pp. 774-787.
- [445.] RABUS, B., EINEDER, M., ROTH, A. & BAMLER, R. (2003): The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57 (4), pp. 241-262.
- [446.] RAD, M. R. P., TOOMANIAN, N., KHORMALI, F., BRUNGARD, C. W., KOMAKI, C. B. & BOGAERT, P. (2014): Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran, *Geoderma*, 232-234, pp. 97-106.
- [447.] RAJKAI, K., MARCHAND, D. & OERTLI, J. J. (1988): Study of the Spatial Variability of Soil properties on Alkali Soils. [In: *Proc. of the International Symposium on Solonchak Soil: Problems, Properties, Utilization* (EDS.: ADAM, M., SZABOLCS, I., MILJKOVIC, N. & PLAMENAC, N.), Yugoslav Society of Soil Science, Osijek, pp. 150-155.
- [448.] RAKONCZAI, J. & FEHÉR, ZS. (2015): A klímaváltozás szerepe az Alföld talajvízkészleteinek időbeli változásaiban, *Hidrológiai Közlemények*, 95 (1), pp. 1-15.
- [449.] RAKONCZAI, J., FARSANG, A., MEZŐSI, G. & GÁL, N. (2011): A belvízképződés elméleti háttere, *Földrajzi Közlemények*, 135 (4), pp. 339-349.
- [450.] RAKONCZAI, J., LADÁNYI, ZS., DEÁK, J. Á. & FEHÉR, ZS. (2012): Indicators of climate change in the landscape: investigation of the soil – groundwater – vegetation connection system in the Great Hungarian Plain. [In: *Review of Climate*



Change Research Program at the University of Szeged (2010–2012), (EDS.: RAKONCZAI, J. & LADÁNYI, ZS.), Institute of Geography and Geology, Szeged, pp. 41–58.

[451.] RAMCHARAN, A., HENGL, T., NAUMAN, T., BRUNGARD, C., WALTMAN, S., WILLS, S. & THOMPSON, J. (2018): Soil property and class maps of the conterminous US at 100 meter spatial resolution based on a compilation of national soil point observations and machine learning, *Soil Science Society of America Journal*, 82 (1), pp. 186–201.

[452.] RITCHIE, J. T. (1998): Soil water balance and plant water stress. [In: *Understanding Options for Agricultural Production*. (EDS.: TSUJI, G. Y., HOOGENBOOM, G. & THORNTON, P. K.)] Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 41–54.

[453.] RITCHIE, J. T., SINGH, U., GODWIN, D. C. & BOWEN, W. T. (1998): Cereal growth, development and yield. [In: *Understanding Options for Agricultural Production*. (EDS.: TSUJI, G. Y., HOOGENBOOM, G. & THORNTON, P. K.)] Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 79–98.

[454.] ROBINSON, T. P. & METTERNICHT, G. (2006): Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties, *Computers and Electronics in Agriculture*, 50 (2), pp. 97–108.

[455.] ROSSITER, D. G. (2004): Digital soil resource inventories: status and prospects, *Soil Use & Management*, 20 (3), pp. 296–301.

[456.] ROUSE JR, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A. & DEERING, D. W. (1973): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309–317.

[457.] RUDIYANTO, MINASNY, B., SETIAWAN, B. I., ARIF, C., SAPTOMO, S. K. & CHADIRIN, Y. (2016): Digital mapping for cost-effective and accurate prediction of the depth and carbon stocks in Indonesian peatlands, *Geoderma*, 272, pp. 20–31.

[458.] SADEGHI, S. H. R., MIZUYAMA, T., MIYATA, S., GOMI, T., KOSUGI, K., MIZUGAKI, S. & ONDA, Y. (2007): Is MUSLE apt to small steeply forested watershed? *Journal of Forest Research*, 12(4), pp. 270–277.

[459.] SAFFARI, M., YASREBI, J., SARIKHANI, F., GAZNI, R., MOAZALLAHI, M., FATHI, H. & EMADI, M. (2009): Evaluation of artificial neural network models for prediction of spatial variability of some soil chemical properties, *Research Journal of Biological Sciences*, 4 (7), pp. 815–820.

[460.] SAKODA, A., ISHIMORI, Y., HANAMOTO, K., KATAOKA, T., KAWABE, A. & YAMAOKA, K. (2010): Experimental and modeling studies of grain size and moisture content effects on radon emanation, *Radiation Measurements*, 45 (2), pp. 204–210.

[461.] SANCHEZ, P. A., AHAMED, S., CARRÉ, F., HARTEMINK, A. E., HEMPEL, J., HUISING, J., LAGACHERIE, P., MCBRATNEY, A. B., MCKENZIE, N. J., MENDONÇA-SANTOS, M. L., MINASNY, B., MONTANARELLA, L., OKOTH, P., PALM, C. A., SACHS, J. D., SHEPHERD, K. D., VÅGEN, T.-G., VANLAUWE, B., WALSH, M. G., WINOWIECKI, L. A. & ZHANG, G. L. (2009): Digital soil map of the world, *Science*, 325 (5941), pp. 680–681.

[462.] SANDERS, B. F. (2007): Evaluation of on line DEMs for flood inundation modelling, *Advances in Water Resources*, 30 (8), pp. 1831–1843.

[463.] SCHILLACI, C., BRAUN, A. & KROPÁČEK, J. (2015): Terrain analysis and landform recognition. [In: *Geomorphological Techniques Chapter: 2.4.2.*, (EDS.: CLARKE, L., NIELD, J.)], British Society for Geomorphology.

[464.] SCHOONOVER, J. E., CRIM, J. F., (2015): An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management, *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 154 (1), pp. 21–47.

[465.] SCHUMANN, R. R. & GUNDERSEN, L. C. S. (1996): Geologic and climatic controls on the radon emanation coefficient, *Environment International*, 22 (Suppl. I), S439–S446.

[466.] SCHWEIKANI, R. R., GIADDUI, T. G. & DURRANI, S. A. (1995): The effect of soil parameters on the radon concentration values in the environment, *Radiation Measurements*, 25 (1-4), pp. 581–584.

[467.] SCULL, P., FRANKLIN, J. & CHADWICK, O. A. (2005): The application of classification tree analysis to soil type prediction in a desert landscape, *Ecological Modelling*, 181 (1), pp. 1–15.

[468.] SCULL, P., FRANKLIN, J., CHADWICK, O. A. & MCARTHUR, D. (2003): Predictive soil mapping: a review, *Progress in Physical Geography*, 27(2), 171–197.

[469.] SHAO, Y. (2008): *Physics and modelling of wind erosion*. 2nd edition, Springer-Verlag, pp. 393.

[470.] SHARPLY, A. N. & WILLIAMS, J. R. (1990): EPIC – erosion/productivity impact calculator: 1. Model documentation. U.S. Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 1768, pp. 235.

[471.] SHI, C. & WANG, L. (2014): Incorporating spatial information in spectral unmixing: A review, *Remote Sensing of Environment*, 149, pp. 70–87.

[472.] SILVA, S. H. G., OWENS, P. R., SILVA, B. M., DE OLIVEIRA, G. C., DE MENEZES, M. D., PINTO, L. C. & CURI, N. (2015): Evaluation of conditioned latin hypercube sampling as a support for soil mapping and spatial variability of soil properties, *Soil Science Society of America Journal*, 79 (2), pp. 603–611.

[473.] SILVEIRA, C. T., OKA-FIORI, C., SANTOS, L. J. C., SIRTOLI, A. E., SILVA, C. R. & BOTELHO, M. F. (2013): Soil prediction using artificial neural networks and topographic attributes, *Geoderma*, 195–196, pp. 165–172.

[474.] SIMBAHAN, G. C., DOBERMANN, A., GOOVAERTS, P., PING, J. & HADDIX, M. L. (2006): Fine-resolution mapping of soil organic carbon based on multivariate secondary data, *Geoderma*, 132 (3-4), pp. 471–489.

[475.] SISÁK, I. (2016): Mai tanulságok a talajosztályozás 1961 és 1999 közötti változásából, *Agrokémia és Talajtan*, 65 (1), pp. 161–168.

[476.] SISÁK, I. & BÁMER, B. (2008): A Géczy Gábor vezetésével készült talajismereti és talajhasználati térképek digitális adatbázisa a Balaton vízgyűjtőjén. [In: *Talajvédelem. Talajtani Vándorgyűlés (2008. május 28-29.)*, (EDS.: SIMON, L.)], Bessenyei György Könyvkiadó, Nyíregyháza, pp. 645–652.

- [477.] SISÁK, I. & BENŐ, A. (2012): Az AGROTOPO talaj-adatbázis problémái és egy részletesebb talajtérkép előállításának célja, lehetőségei és lépései. [In.: Agrárinformatika 2012 Konferencia: Innovatív információtechnológiák az agrárgazdaságban. (EDS.: HERDON, M. & SZILÁGYI, R.)], pp. 44–51.
- [478.] SISÁK, I. & BENŐ, A. (2014): Probability-based harmonization of digital maps to produce conceptual soil maps, *Agrokémia és Talajtan*, 63 (1), pp. 89–98.
- [479.] SOILGRIDS, <https://soilgrids.org/>
- [480.] SONG, X-D., LIU, F., ZHANG, G-L., LI, D-C. & ZHAO, Y-G. (2016): Estimation of soil texture at a regional scale using local soil-landscape models, *Soil Science*, 181 (9/10), pp. 435–445.
- [481.] SPANOUDAKI, K., STAMOU, A. I., & NANOU-GIANNAROU, A. (2009): Development and verification of a 3-D integrated surface water-groundwater model, *Journal of Hydrology*, 375 (3-4), pp. 410-427.
- [482.] STARKS, T. H. (1986): Determination of support in soil sampling, *Mathematical Geology*, 18 (6), pp 529-537.
- [483.] STEFANOVITS, P. (1963): Magyarország talajai. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- [484.] STEFANOVITS, P. (1964): Talajpusztulás Magyarországon (Magyarázatok Magyarország eróziós térképéhez). OMMI. Budapest.
- [485.] STEFANOVITS, P. (1972): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- [486.] STEFANOVITS, P. & SZÚCS, L. (1961): Magyarország genetikus talajtérképe, Országos Mezőgazdasági Minőségvizsgáló Intézet, Budapest.
- [487.] STEFANOVITS, P. & VÁRALLYAY, GY. (1992): State and management of soil erosion in Hungary, *Proceedings of the Soil Erosion and Remediation Workshop, US – Central and Eastern European Agro-Environmental Program, Budapest, I*, pp. 79–95.
- [488.] STEIN, A. & ETTEMA, C. (2003): An overview of spatial sampling procedures and experimental design of spatial studies for ecosystem comparisons, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 94 (1), pp. 31-47.
- [489.] STEINIGER, S. & HUNTER, A. J. S. (2012): Free and Open Source GIS Software for Building a Spatial Data Infrastructure. [In: *Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century*. (EDS.: BOCHER, E. & NETELER, M.)], Springer, Berlin, Heidelberg.
- [490.] STENBERG, B., VISCARRA ROSSEL, R. A., MOUAZEN, A. M. & WETTERLIND, J. (2010): Visible and near infrared spectroscopy in soil science, [In: *Advances in Agronomy*, 107. (Ed.: SPARKS, D. L.)], pp. 165–215.
- [491.] STONE, M. (1974): Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions, *Journal of Royal Statistical Society: Series B*, 36 (2), pp. 111–147.
- [492.] STOORVOGEL, J. J., KOOISTRA, L. & BOUMA, J. (2015): Managing soil variability at different spatial scales as a basis for precision agriculture. [In: *Soil-Specific Farming: Precision Agriculture*. (EDS.: LAL, R. & STEWART, B. A.)], CRC Press, pp. 37-73.
- [493.] STUM, A. K., BOETTINGER, J. L., WHITE, M. A. & RAMSEY, R. D. (2010): Random forests applied as a soil spatial predictive model in Arid Utah. [In: *Digital Soil Mapping — Progress in Soil Science 2: Bridging Research, Environmental Application, and Operation*. (EDS.: BOETTINGER, J. L., HOWELL, D. W., MOORE, A. C., HARTEMINK, A. E. & KIENAST-BROWN S.)] Springer Science+Business Media B.V, Dordrecht, pp. 179–190.
- [494.] SUN, K., GUO, Q. & CHENG, J., (2004): The effect of some soil characteristics on soil radon concentration and radon exhalation from soil surface, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 41 (11), pp. 1113–1117.
- [495.] SZABÓ, J. (2002a): Nagyléptékű talajtani térinformatikai rendszer tervezése és építése az agrár-környezeti problémák vizsgálatához, Doktori (PhD) értekezés, Veszprémi Egyetem, Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Doktori Iskola.
- [496.] SZABÓ, J. (2002b): Compilation of a watershed level, complex land information system for internet service, *Agrokémia és Talajtan*, 51 (1-2), pp. 283-292.
- [497.] SZABÓ, J., PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., SZALAI, S., NÉMETH, Á., TAR, F. & MIKUS, G. (2010): tagállami jelentés az Európai Bizottság által meghatározott biofizikai kritériumok alapján a természeti hátrányokkal érintett területek rendszeréhez lehatárolt jogosult területekről. MTA TAK, Budapest.
- [498.] SZABÓ, J., VÁRALLYAY, GY., PÁSZTOR, L. & SUBA, ZS. (1999): Talajdegradációs folyamatok térképezése országos és regionális szinten térinformatikai és távérzékelési módszerek integrálásával, *Agrokémia és Talajtan*, 48, pp. 3–14.
- [499.] SZABÓ, J., DOMBOS, M., PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS. & LÁSZLÓ, P. (2008): Practical problems of soil state assessment; experiments in the Bodrogköz sample area, *Tájkölögi Lapok*, 6 (1-2), pp. 27-41.
- [500.] SZABÓ, J., MILICS, G., TAMÁS, J. & PÁSZTOR, L. (2007a): Térinformatika a precíziós mezőgazdaságban. [In: *A precíziós mezőgazdaság módszertana*. (EDS.: NÉMETH, T., NEMÉNYI, M. & HARNOS, ZS.)], JATEPress, MTA TAKI, Szeged, pp. 39-62.
- [501.] SZABÓ, J. & PÁSZTOR, L. (1994): Magyarország agroökológiai adatbázisa és annak környezetvédelmi felhasználási lehetőségei, [In: *Országos Környezetvédelmi Konferencia, Siófok, Magyarország, 1994.09.07-09*. (EDS.: ELEK, GY. & VÉCSI, B.)] Siófok: MTESZ Fejér Megyei Szervezete; MTESZ Veszprém Megyei Szervezete, pp. 156-163.
- [502.] SZABÓ, J., PÁSZTOR, L. & BAKACSI, ZS. (2005): Egy országos, átnézetes, térbeli talajinformációs rendszer kiépítésének igénye, lehetősége és lépései, *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN*, 54 (1), pp. 41-58.
- [503.] SZABÓ, J., PÁSZTOR, L. & BAKACSI, ZS. (2011): Demand, feasibility and construction stages of a national spatial soil information system, *Agrokémia és Talajtan*, 60 (Supp), pp. 149-160.
- [504.] SZABÓ, J., PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., LÁSZLÓ, P. & LABORCZI, A. (2007b): A Digitális Kreybig Talajinformációs Rendszer alkalmazása térségi szintű földhasználati kérdések megoldásában, *Agrokémia és Talajtan*, 56 (1), pp. 5–20.
- [505.] SZABÓ, J., PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., TAR, F., SZALAI, S., MIKUS, G. & NÉMETH, Á. (2011): Természeti hátrányokkal érintett területek lehatárolása közös európai biofizikai kritériumrendszer alapján. [In: *Talajaink a változó természeti és*

- társadalmi hatások között: Talajvédelem különszám (EDS.: FARSANG, A., LADÁNYI, ZS.), Talajvédelmi Alapítvány; Magyar Talajtani Társaság, pp. 85-92. (ISBN:978-963-306-089-6).
- [506.] SZABÓ, J., PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., ZÁGONI, B. & CSÖKLI, G. (2000): Kreybig Digitális Talajinformatikai Rendszer (Előzmények, térinformatikai megalapozás), Agrokémia és Talajtan, 49, pp. 265-276.
- [507.] SZABÓ, K. Z., JORDÁN, GY., HORVÁTH, Á. & SZABÓ, CS. (2014): Mapping the geogenic radon potential: methodology and spatial analysis for central Hungary, *Journal of Environmental Radioactivity*, 129, pp. 107–120.
- [508.] SZABOLCS, I. (1966): A genetikus üzemi talajterképezés módszerkönyve. OMMI, Budapest.
- [509.] SZABOLCS, I., DARAB, K. & VÁRALLYAY, GY., (1968): A tiszai öntözőrendszerek és a Magyar Alföld talajainak termékenysége. I. Az öntözés talajtani lehetőségei és feltételei Szolnok, Hajdú-Bihar, Békés és Csongrád megyék területén, *Agrokémia és Talajtan*, 17, pp. 453–464.
- [510.] SZABOLCS, I., DARAB, K. & VÁRALLYAY, GY., (1969a): A tiszai öntözőrendszerek és a Magyar Alföld talajainak termékenysége. II. A talajvíz „kritikus” mélysége a kis-körei öntözőrendszer által érintett területeken, *Agrokémia és Talajtan*, 18, pp. 211–220.
- [511.] SZABOLCS, I., DARAB, K. & VÁRALLYAY, GY., (1969b): A tiszai öntözőrendszerek és a Magyar Alföld talajainak termékenysége. III. Az öntözés lehetőségeit és feltételeit ábrázoló 1:25000-es léptékű térképek készítésének módszerei, *Agrokémia és Talajtan*, 18, pp. 221–234.
- [512.] SZALAI, S., AUER, I., HIEBL, J., MILKOVICH, J., RADIM, T., STEPANEK, P. &...SPINONI, J. (2013): Climate of the Greater Carpathian Region. Final Technical Report.
- [513.] SZALAI, Z. (2012): Talajtani mintavétel. [In: Környezeti mintavételezés. (EDS.: ÓVÁRI, M. & TATÁR, E.), Typotex Kiadó, Budapest, pp. 18–40.
- [514.] SZALÓKI, A. & SOMODI, ZS. (2014): Talajok nehézfém-tartalmának heterogenitás-vizsgálata geostatistikai módszerek segítségével, [In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában V. (EDS.: BALÁZS, B.), Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, pp. 359–368.
- [515.] SZATMÁRI, G. (2017): Geostatistikai megközelítésen alapuló digitális talajterképezési és mintavétel optimalizációs módszertan kialakítása valamint alkalmazása különböző léptékekben, doktori (PhD.) értekezés, Szegedi Tudományegyetem, Környezettudományi Doktori Iskola, Szeged.
- [516.] SZATMÁRI, G. & BARTA, K. (2013): Csernozjom talajok szervesanyag-tartalmának digitális térképezése erózióval veszélyeztetett mezőföldi területen, *Agrokémia és Talajtan*, 62 (1), pp. 47–60.
- [517.] SZATMÁRI, G. & PÁSZTOR, L. (2018): Comparative examination of various uncertainty modelling approaches based on geostatistics and machine learning algorithms, *Geoderma*, (<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.008>).
- [518.] SZATMÁRI, G., BARTA, K. & PÁSZTOR, L. (2015a): An application of a spatial simulated annealing sampling optimization algorithm to support digital soil mapping, *Hungarian Geographical Bulletin*, 64 (1), pp. 35–48.
- [519.] SZATMÁRI, G., BARTA, K., FARSANG, A. & PÁSZTOR, L. (2015b): Testing a sequential stochastic simulation method based on regression kriging in a catchment area in Southern Hungary, *Geologia Croatica*, 68 (3), pp. 273–283.
- [520.] SZATMÁRI, G., LABORCZI, A., ILLÉS, G. & PÁSZTOR, L. (2013): A talajok szervesanyag-készletének nagyléptékű térképezése regresszió krigeléssel Zala megye példáján, *Agrokémia és Talajtan*, 62, (2), pp. 219-234.
- [521.] SZATMÁRI, G., LÁSZLÓ, P., TAKÁCS, K., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS, KOÓS, S. & PÁSZTOR, L. (2018): Optimization of second-phase sampling for multivariate soil mapping purposes: Case study from a wine region, Hungary, *Geoderma*, (online: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.030>).
- [522.] SZENTIMREY, T. & BIHARI, Z. (2010): Application of MISH method for gridding of SPI series, BALWOIS 2010, Ohrid, Republic of Macedonia 25-29 May 2010.
- [523.] SZENTIMREY, T. & BIHARI, Z. (2015): Meteorological Interpolation based on Surface Homogenized Data Basis (MISH v1.02). Hungarian Meteorological Service ([http://www.dmcsee.org/uploads/file/330\\_1\\_mishmanual.pdf](http://www.dmcsee.org/uploads/file/330_1_mishmanual.pdf) p.33).
- [524.] SZENTIMREY, T., BIHARI, Z., LAKATOS, M. & SZALAI, S. (2011): Mathematical, methodological questions concerning the spatial interpolation of climate elements, *Proceedings from the Second Conference on Spatial Interpolation in Climatology and Meteorology*, Budapest, Hungary, 2009. Időjárás 115, 1-2–1-11.
- [525.] SZODFRIDT, I. (1993): Erdészeti termőhelyismeret-tan. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- [526.] TAALAB, K., CORSTANJE, R., ZAWADZKA, J., MAYR, T., WHELAN, M. J., HANNAM, J. A. & CREAMER, R. (2015): On the application of Bayesian networks in digital soil mapping, *Geoderma*, 259-260, pp. 134-148.
- [527.] TAGHIZADEH-MEHRJARDI, R., SARMADIAN, F., MINASNY, B., TRIANTAFILIS, J. & OMID, M. (2014): Digital mapping of soil classes using decision tree and auxiliary data in the Ardkan region, Iran, *Arid Land Research and Management*, 213, pp. 15–28.
- [528.] TAKÁCS, P., TAMÁS, J. & LÉNÁRD, CS. (2004): Virtuális talajinformációs rendszerek kialakítása a Bihari-sík és a Tedej Rt. területén, *Acta Agraria Debreceniensis*, 13, pp. 186-189.
- [529.] TAMÁS, J. (2001): Precíziós mezőgazdaság elmélete és gyakorlata. Szaktudás Kiadó Ház Zrt.
- [530.] TAMÁS, J. & LÉNÁRT, CS. (2006): Analysis of a small agricultural watershed using remote sensing techniques, *International Journal of Remote Sensing*, 27 (17), pp. 3727–3738.
- [531.] TAMÁS, J. & NÉMETH, T. (Eds.) (2005): Agrárkörnyezetvédelmi indikátorok elmélete és gyakorlati alkalmazásai. Debreceni Egyetem, Debrecen.
- [532.] TAN, P. N., STEINBACH, M., KARPATNE, A. & KUMAR, V. (2005): Introduction to Data Mining. Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc., Boston, MA, USA.

- [533.] TELBISZ, T., SZÉKELY, B. & TIMÁR, G. (2013): Digitális Terepmodellek Adat, látvány, elemzés. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Földrajz-és Földtudományi Intézet, Természetföldrajzi Tanszék, Budapest.
- [534.] TENG, H. F., LIANG, Z. Z., CHEN, S. C., LIU, Y., VISCARRA ROSSEL, R. A., CHAPPELL, A., YU, W. & SHI, Z. (2018): Current and future assessments of soil erosion by water on the Tibetan Plateau based on RULSE and CMIP5 climate models, *Science of the Total Environment*, 635, pp. 673-686.
- [535.] TERRES, J.-M., TOTH, T., WANIA, A., HAGYO, A., KOEBLE, R., NISINI, L. (2016): Updated Guidelines for Applying Common Criteria to Identify Agricultural Areas with Natural Constraints; EUR 27950; doi:10.2788/130243.
- [536.] THYLL, SZ. & BÍRÓ, T. (1999): A belvíz-veszélyeztetettség térképezése, *Vízügyi Közlemények*, 81 (4), pp. 709–718.
- [537.] TIM, (1995): Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer. Módszertan.
- [538.] TOBLER, W. R. (1970): A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, 46 (2), pp. 234–240.
- [539.] TOLLEFSEN, T., GRUBER, V., BOSSEW, P. & DE CORT, M. (2011): Status of the European indoor radon map, *Radiation Protection Dosimetry*, 145 (2-3), pp. 110–116.
- [540.] TÓTH, B., WEYNANTS, M., PÁSZTOR, L. & HENGL, T. (2017): 3D Soil Hydraulic Database of Europe at 250 m resolution, *Hydrological Processes*, 31 (14), pp. 2662-2666.
- [541.] TÓTH, G. (2009): Hazai szántóink földminősítése a D-e-Meter rendszerrel, *Agrokémia és Talajtan*, 58 (2), pp. 227-242.
- [542.] TÓTH, G. (2011): Evaluation of cropland productivity in Hungary with the D-e-Meter land evaluation system, *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN*, 60 (suppl), pp. 161-174.
- [543.] TÓTH, G., HENGL, T., HERMANN, T., MAKÓ, A., KOCSIS, M., TÓTH, B. & BERÉNYI ÜVEGES, J. (2015): Magyarország mezőgazdasági területeinek talajtulajdonság-térképei (Soil property maps of the agricultural land of Hungary), EUR 27539. <https://doi.org/10.2788/318926>.
- [544.] TÓTH, G., HERMANN, T., DA SILVA, M. R. & MONTANARELLA, L. (2018): Luca Monitoring soil for sustainable development and land degradation neutrality, *Environmental Monitoring and Assessment*, 190 (2), pp. 57.
- [545.] TÓTH, G., HERMANN, T., SZATMÁRI, G. & PÁSZTOR, L. (2016): Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment, *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, 565, pp. 1054-1062.
- [546.] TÓTH, G., MÁTÉ, F. & MAKÓ, A. (2005): Soil attribute parametrisation for plant-specific evaluation of cropland productivity in Hungary, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36 (4-6), pp. 681-693.
- [547.] TÓTH, G., RAJKAI, K., MÁTÉ, F. & BÓDIS, K. (2014): Magyarországi kistájak szántóföldjeinek minősége. *Tájökológiai Lapok*, 12 (1), pp. 183–195.
- [548.] TÓTH, T. & KERTÉSZ, M. (1993): Mapping the degradation of solonchic grassland, *Agrokémia és Talajtan*, 42, pp. 43–54.
- [549.] TÓTH, T. & KERTÉSZ, M. (1996): Application of soil-vegetation correlation to optimal resolution mapping of solonchic rangeland, *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 10 (1), pp. 1–12.
- [550.] TÓTH, T. & RAJKAI, K. (1994): Soil and plant correlations in a solonchic grassland, *Soil Science*, 157 (4), pp. 253–262.
- [551.] TÓTH, T. & VÁRALLYAY, GY. (2001): Egy mintaterület talajának variabilitása a sófelhalmozódás tényezői szerint, *Agrokémia és Talajtan*, 50 (1-2), pp. 19–34.
- [552.] TÓTH, T., CSILLAG, F., BIEHL, L. & MICHÉLI, E. (1991): Characterization of semi-vegetated salt-affected soils by means of field remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 37 (3), pp. 167–180.
- [553.] TÓTH, T., NÉMETH, T., FÁBIÁN, T., HERMANN, T., HORVÁTH, E., PATOCSKAI, Z., SPEISER, F., VINOGRADOV, SZ. & TÓTH, G. (2006): Internet-based land valuation system powered by a GIS of 1:10,000 soil maps, *Agrokémia és Talajtan*, 55 (1), pp. 109-116.
- [554.] TÓTH, T., PÁSZTOR, L., KERTÉSZ, M., ZAGONI, B. & BAKACSI, ZS. (1998): Allocation of soil reclaiming material based on digital processing of aerial photograph, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32 (7), pp. 178–181.
- [555.] TÓTH, T., PÁSZTOR, L., VÁRALLYAY, GY. & TÓTH, G. (2007): Overview of soil information and soil protection policies in Hungary. [In: Status and prospect of soil information in South-Eastern Europe: soil databases, projects and applications. (EDS.: HENGL, T., PANAGOS, P., JONES, A. & TÓTH, G.)], European Commission, Luxembourg, pp. 77-86.
- [556.] TRUONG, P. N. & HEUVELINK, G. B. M. (2013): Uncertainty quantification of soil property maps with statistical expert elicitation, *Geoderma*, 202–203, pp. 142–152.
- [557.] VAN DEN BESSELAAR, E. J. M., KLEIN TANK, A. M. G., & BUISSAND, T. A. (2012): Trends in European precipitation extremes over 1951–2010, *International Journal of Climatology*.
- [558.] VAN ENGELEN, V. W. P. & PULLES, J. (1990): SOTER Procedures manual for small -scale map and database compilation, for discussion. - 3rd revised edition, Working paper and preprint ISRIC, Wageningen, 90 (2), pp. 69.
- [559.] VAN GROENIGEN, J. W. (1997): Spatial Simulated Annealing for Optimizing Sampling, [In: geoENV I — Geostatistics for Environmental Applications. Quantitative Geology and Geostatistics (EDS.: SOARES, A., GÓMEZ-HERNANDEZ, J. & FROIDEVAUX, R.)], 9, Springer, Dordrecht.
- [560.] VAN GROENIGEN, J. W. (2000): The influence of variogram parameters on optimal sampling schemes for mapping by kriging, *Geoderma*, 97 (3-4), pp. 223–236.
- [561.] VAN GROENIGEN, J. W. & STEIN, A. (1998): Constrained optimization of spatial sampling using continuous simulated annealing, *Journal of Environmental Quality*, 27 (5), pp. 1078–1086.
- [562.] VAN LEEUWEN, B., HENITS, L., MÉSZÁROS, M., TOBAK, Z., SZATMÁRI, J., PAVIĆ, D., SAVIĆ, S. & DOLINAJ, D. (2013): Classification methods for inland excess water modeling, *Journal of Environmental Geography*, 6 (1-2), pp. 1-8.



- [563.] VAN LEEUWEN, B., MEZŐSI, G., TOBAK, Z., SZATMÁRI, J. & BARTA, K. (2012): Identification of inland excess water floodings using an artificial neural network, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7 (4), pp. 173-180.
- [564.] VAN LOOY, K., BOUMA, J., HERBST, M., KOESTEL, J., MINASNY, B., MISHRA, U., MONTZKA, C., NEMES, A., PACHEPSKY, Y. A., PADARIAN, J., SCHAAP, M. G., TÓTH, B., VERHOEF, A., VANDERBORGHT, J., VAN DER PLOEG, M. J., WEIHERMÜLLER, L., ZACHARIAS, S., ZHANG, Y. & VEREECKEN, H. (2017): Pedotransfer Functions in Earth System Science: Challenges and Perspectives, *Reviews of Geophysics*, 55 (4), pp. 1199–1256.
- [565.] VAN LYNDEN, G. W. J. & MANTEL, S. (2001): The role of GIS and remote sensing in land degradation assessment and conservation mapping: some user experiences and expectations, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3 (1), pp. 61-68.
- [566.] VAN ORSHOVEN, J., TERRES, J. M. & ELIASSON, Å. (2008): Common biophysical criteria to define natural constraints for agriculture in Europe. The Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre, Ispra, Italy. EUR23412 EN - 2008. 60.
- [567.] VAN ORSHOVEN, J., TERRES, J.-M. & TÓTH, T. (Eds.) (2014): Updated common biophysical criteria to define natural constraints for agriculture in Europe. EUR 26638 EN, JRC.
- [568.] VÁRALLYAY, GY (2002): Soil survey and soil monitoring in Hungary. [In: European Soil Bureau Research Report], ESB, Ispra, 9: pp. 139–149.
- [569.] VÁRALLYAY, GY. (1989): Soil mapping in Hungary, *Agrokémia és Talajtan*, 38, pp. 696-714.
- [570.] VÁRALLYAY, GY. (2005): Soil survey and soil monitoring in Hungary. [In: Soil Resources of Europe. (EDS.: JONES, R. J. A., HOUSKOVÁ, B., BULLOCK, P. & MONTANARELLA, L.)], ESB Research Report, 9 (2nd ed.), JRC, Ispra, pp. 169–179.
- [571.] VÁRALLYAY, GY. (2012): Talajterképezés, talajtani adatbázisok, *Agrokémia és Talajtan*, 61, pp. 249–267.
- [572.] VÁRALLYAY, GY. (2015a): Soil as a Multifunctional Natural Resource, *Columella: Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 2 (1), pp. 9-19.
- [573.] VÁRALLYAY, GY. (2015b): Soils as the Most Important Natural Resources in Hungary (Potentialities and Constraints). A Review, *Agrokémia és Talajtan*, 64 (2), pp. 321–338.
- [574.] VÁRALLYAY, GY. (2016): A talaj multifunkcionalitása és korlátozó tényezői, *Magyar Tudomány*, 10, pp. 1162-1174.
- [575.] VÁRALLYAY, GY., SZÜCS, L., MURÁNYI, A., RAJKAI, K. & ZILAHY, P. (1979): Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe I. *Agrokémia és Talajtan*, 28 (3-4), pp. 363–384.
- [576.] VÁRALLYAY, GY., SZÜCS, L., MURÁNYI, A., RAJKAI, K. & ZILAHY, P. (1980): Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe II. *Agrokémia és Talajtan*, 29 (1-2), pp. 35–76.
- [577.] VÁRALLYAY, GY., SZÜCS, L., ZILAHY, P., RAJKAI, K. & MURÁNYI, A., (1985): Soil factors determining the agro-ecological potential of Hungary, *Agrokémia és Talajtan*, 34, 90–94.
- [578.] VAYSSE, K. & LAGACHERIE, P. (2015): Evaluating Digital Soil Mapping approaches for mapping GlobalSoilMap soil properties from legacy data in Languedoc-Roussillon (France), *Geoderma Regional*, 4, pp. 20–30.
- [579.] VAYSSE, K. & LAGACHERIE, P. (2017): Using quantile regression forest to estimate uncertainty of digital soil mapping products, *Geoderma*, 291, pp. 55–64.
- [580.] VEREECKEN, H., SCHNEPF, A., HOPMANS, J.W., JAVAUX, M., OR, D., ROOSE, T., VANDERBORGHT, J., YOUNG, M.H., AMELUNG, W., AITKENHEAD, M., ALLISON, S.D., ASSOULINE, S., BAVEYE, P., BERLI, M., BRÜGGEMANN, N., FINKE, P., FLURY, M., GAISER, T., GOVERS, G., GHEZZEHEI, T., HALLETT, P., HENDRICKS FRANSSEN, H.J., HEPPELL, J., HORN, R., HUISMAN, J.A., JACQUES, D., JONARD, F., KOLLET, S., LAFOLIE, F., LAMORSKI, K., LEITNER, D., MCBRATNEY, A.B., MINASNY, B., MONTZKA, C., NOWAK, W., PACHEPSKY, Y., PADARIAN, J., ROMANO, N., ROTH, K., ROTHFUSS, Y., ROWE, E.C., SCHWEN, A., ŠIMŮNEK, J., TIKTAK, A., VAN DAM, J., VAN DER ZEE, S.E.A.T.M., VOGEL, H.J., VRUGT, J.A., WÖHLING, T. & YOUNG, I.M. (2016): Modeling soil processes: review, key challenges, and new perspectives, *Vadose Zone Journal*, 15 (5), pp. 1–57.
- [581.] VISCARRA ROSSEL, R. A., CHEN, C., GRUNDY, M. J., SEARLE, R., CLIFFORD, D. & CAMPBELL, P. H. (2015): The Australian three-dimensional soil grid: Australia's contribution to the GlobalSoilMap project, *Soil Research*, 53 (8), pp. 845–864.
- [582.] VISCARRA ROSSEL, R. A., MCBRATNEY, A. B. & MINASNY, B. (Eds.) (2010): Proximal Soil Sensing. Springer, Dordrecht.
- [583.] VISCARRA ROSSEL, R. A., WALVOORT, D. J. J., MCBRATNEY, A. B., JANIK, L. J. & SKJEMSTAD, J. O. (2006): Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties, *Geoderma*, 131 (1-2), pp. 59–75.
- [584.] VOGEL, H. J., BARTKE, S., DAEDLOW, K., HELMING, K., KÖGEL-KNABNER, I., LANG, B., RABOT, E., RUSSEL, D., STÖBEL, B., WELLER, U., WIESMEIER, M. & WOLLSCHLÄGER, U. (2018): A systemic approach for modelling soil functions. *SOIL*, 4 (1), pp. 83–92.
- [585.] VOHLAND, M., LUDWIG, M., THIELE-BRUHN, S. & LUDWIG, B. (2017): Quantification of soil properties with hyperspectral data: Selecting spectral variables with different methods to improve accuracies and analyze prediction mechanisms, *Remote Sensing*, 9 (11), pp. 1103.
- [586.] VOLTZ, M. & WEBSTER, R. (1990): A comparison of kriging, cubic splines and classification for predicting soil properties from sample information, *Journal of Soil Science*, 41 (3), pp. 473-490.
- [587.] WALTNER, I., MICHELI, E., FUCHS, M., LÁNG, V., PÁSZTOR, L., BAKACSI, ZS., LABORCZI, A. & SZABÓ, J. (2014): Digital mapping of selected WRB units based on vast and diverse legacy data. [In: Global Soil Map: Basis of the Global Spatial Soil Information System. (EDS.: ARROUAYS, D., MCKENZIE, N., HEMPEL, J., RICHER DE FORGES, A. & MCBRATNEY, A. B.)], CRC Press, Taylor and Francis Group, London, pp. 313–318.
- [588.] WALTNER, I., PÁSZTOR, L., CENTERI, CS., TAKÁCS, K., PIRKÓ, B., KOÓS, S. & LÁSZLÓ, P. (2018): Evaluating the new soil erosion map of Hungary – A semi-quantitative approach, *Land degradation & development*, 29 (4), pp. 1295-1302.

- [589.] WALVOORT, D. J. J., BRUS, D. J. & HEUVELINK, G. B. M. (2011): Building a three dimensional soil model by combining data sources of various degrees of uncertainty. (előadás) Pedometrics 2011 – Innovations in Pedometrics Třešť, Czech Republic, August 31 – September 02, 2011.
- [590.] WANG, F. & HALL, G. B. (1996): Fuzzy representation of geographical boundaries in GIS, *International Journal of Geographical Information Systems*, 10 (5), pp. 573–590.
- [591.] WANG, J-F., STEIN, A., GAO, B-B. & YONG, G. (2012): A review of spatial sampling, *Spatial Statistics*, 2, pp. 1-14.
- [592.] WARREN, A. (2003): Wind erosion on agricultural land in Europe: research results for land managers. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 78.
- [593.] WEBSTER, R. (1989): Recent achievements in geostatistical analysis of soil, *Agrokémia és Talajtan*, 38, pp. 519–536.
- [594.] WEBSTER, R. (1994): The development of pedometrics, *Geoderma*, 62 (1-3), pp. 1–15.
- [595.] WEBSTER, R. (2000): Is soil variation random?, *Geoderma*, 97 (3-4), pp. 149–163.
- [596.] WEBSTER, R. (2015): Technological developments for spatial prediction of soil properties, and Danie Krige's influence on it, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 115 (2), 165–172.
- [597.] WEBSTER, R. & BECKETT, P. H. T. (1970): Terrain classification and evaluation using air photography: a review of recent work at Oxford, *Photogrammetria*, 26 (2-3), pp. 51–75.
- [598.] WEBSTER, R. & BURGESS, T. M. (1980): Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. III. Changing drift and universal kriging, *Journal of Soil Science*, 31 (3), pp. 505–524.
- [599.] WEBSTER, R. & CUANALO DE LA C., H. E. (1975): Soil transect correlograms of north Oxfordshire and their interpretation, *Journal of Soil Science*, 26 (2), pp. 176–194.
- [600.] WEBSTER, R. & LARK, R. M. (2012): *Field Sampling for Environmental Science and Management*. Routledge.
- [601.] WEBSTER, R. & OLIVER, M. A. (1990): *Statistical methods in soil and land resource survey*. Oxford University Press, Oxford.
- [602.] WEBSTER, R. & OLIVER, M. A. (2001): *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley & Sons, Chichester, England.
- [603.] WERE, K., BUI, D. T., DICK, Ø. B. & SINGH, B. R. (2015): A comparative assessment of support vector regression, artificial neural networks, and random forests for predicting and mapping soil organic carbon stocks across an Afrotropical landscape, *Ecological Indicators*, 52, pp. 394–403.
- [604.] WIESMEIER, M., BARTHOLD, F., BLANK, B. & KÖGEL-KNABNER, I. (2011): Digital mapping of soil organic matter stocks using random forest modeling in a semi-arid steppe ecosystem, *Plant and Soil*, 340 (1-2), pp. 7–24.
- [605.] WILSON, M. & MALISZEWSKA-KORDYBACH, B. (Eds.) (2000): *Soil Quality, Sustainable Agriculture and Environmental Security in Central and Eastern Europe*. NATO Science Series 2, Environmental Security, 69, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 375.
- [606.] WINKLER, R., RUCKERBAUER, F. & BUNZL, K. (2001): Radon concentration in soil gas: a comparison of the variability resulting from different methods, spatial heterogeneity and seasonal fluctuations, *Science of The Total Environment*, 272 (1-3), pp. 273–282.
- [607.] WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. (1978): *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Science, US Department of Agriculture Handbook, No. 537, Washington DC.
- [608.] WITTEN, I. H. & FRANK, E. (2005): *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. 2nd edition, Elsevier, San Francisco, CA, pp. 525.
- [609.] WORSHAM, L., MARKEWITZ, D., NIBBELINK, N. P. & WEST, L. T. (2012): A comparison of three field sampling methods to estimate soil carbon content, *Forest Science*, 58 (5), pp. 513–522.
- [610.] YAALON, D. H. (1989): The Earliest Soil Maps and Their Logic. *Bulletin of the International Society of Soil Science*, International Society of Soil Science, Wageningen, pp. 24.
- [611.] YANG, C., EVERITT, J. H., BRADFORD, J. M. & MURDEN, D. (2004): Airborne hyperspectral imagery and yield monitor data for mapping cotton yield variability, *Precision Agriculture*, 5 (5), pp. 445–461.
- [612.] YANG, R-M., ZHANG, G-L., LIU, F., LU, Y-Y., YANG, F., YANG, F., YANG, M., ZHAO, Y-G. & LI, D-C. (2016): Comparison of boosted regression tree and random forest models for mapping topsoil organic carbon concentration in an alpine ecosystem, *Ecological Indicators*, 60, pp. 870–878.
- [613.] ZHANG, G.-L., BRUS, D., LIU, F., SONG, X.-D. & LAGACHERIE, P. (2016): *Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries*. Springer Singapore.
- [614.] ZHANG, G.-L., LIU, F. & SONG X.-D. (2017): Recent progress and future prospect of digital soil mapping: A review, *Journal of Integrative Agriculture*, 16 (12), pp. 2871–2885.
- [615.] ZHENG, X. (2009): *Mechanics of wind-blown sand movements*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 309.
- [616.] ZHU, A. X., HUDSON, B., BURT, J., LUBICH, K. & SIMONSON, D. (2001): Soil Mapping Using GIS, Expert Knowledge, and Fuzzy Logic, *Soil Science Society of American. Journal*, 65 (5), 1463–1472.
- [617.] ZOLINA, O., SIMMER, C., BELYAIEV, K., KAPALA, A. & GULEV, S. (2009): Improving estimates of heavy and extreme precipitation using daily records from European rain gauges, *Journal of Hydrometeorology*, 10, pp. 701–716.